



**CÉSAR FERNANDO  
LOBO AMORIM  
DUARTE**

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE  
CÁLCULO DE AÇÕES E COMBINAÇÃO DE AÇÕES**





**CÉSAR FERNANDO  
LOBO AMORIM  
DUARTE**

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE  
CÁLCULO DE AÇÕES E COMBINAÇÃO DE AÇÕES**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Dr. Paulo Cachim, Professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e do Dr. Miguel Morais, Professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.





Aos meus pais, e à minha irmã.



## **o júri**

presidente

Prof.<sup>a</sup> Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa  
Professora Associada, Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Miguel Ângelo Carvalho Ferraz  
Professor Auxiliar, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Prof. Doutor Paulo Barreto Cachim  
Professor Associado com Agregação, Universidade de Aveiro



## **agradecimentos**

A conclusão desta etapa não seria possível sem o apoio e incentivo de diversas pessoas.

Aos meus orientadores, o Professor Paulo Cachim e Professor Miguel Morais pelos conselhos, sugestões e pela plena disponibilidade que permitiram desenvolver este trabalho.

Ao Tomás “Valetas” e ao Albano “Barulho” pelo incentivo e dedicação no meu desenvolvimento pessoal.

À minha família pela oportunidade que me deram.

Obrigado a todos.



## **palavras-chave**

Eurocódigo, ações, combinação de ações, casos de carga, segurança estrutural, estados limite, programação, C#, .NET.

## **resumo**

Pretende-se com esta dissertação desenvolver um programa de cálculo cujo objectivo é quantificar ações e determinar as suas combinações quer para estado limite último, quer para estado limite de serviço, de acordo com o Eurocódigo 1.

O programa de cálculo visa criar um ambiente simples e intuitivo que de uma forma expedita apresente resultados de cálculo fiáveis e de interpretação acessível.

A linguagem de programação adoptada para o mesmo é a relativamente recente linguagem C#, que sendo desenvolvida dentro da plataforma .NET é compatível com todos os sistemas operativos Windows revelando assim uma flexibilidade acrescida.

Os elementos teóricos e normativos necessários ao desenvolvimento do programa de cálculo são brevemente descritos neste documento e estão de acordo com o Eurocódigo 1 e incluem elementos do Eurocódigo 0. Será igualmente abordada a utilização do programa de cálculo bem como a interpretação dos resultados que o mesmo disponibiliza.

Previamente à conclusão deste documento, apresenta-se o exemplo resolvido de um edifício com propriedades semelhantes ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.





**keywords**

Eurocode, loads, load combinations, load cases, structural safety, limit states, programming, C#, .NET.

**abstract**

The aim of this thesis is to develop a computer program which aims to quantify loads and determine their combinations for the ultimate limit state and for serviceability limit state according to the Eurocode 1.

The program aims to create a simple and intuitive environment which will promptly provide reliable and user-friendly results.

The programming language adopted for this task is the relatively new C# language, which is being developed within the .NET platform. Thus, the end-user software will be compatible with all Windows operating systems.

Theoretical and regulatory elements necessary for the development of the computer program are briefly described in this document, which complies with the Eurocode 1 and includes elements of the Eurocode 0. A user tutorial is also included as well as an interpretation of the results provided.

Prior to the conclusion of this document, a solved example is granted through a building with properties similar to Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.



# ÍNDICE

Índice .....	i
Simbologia.....	iii
1. Introdução .....	1
1.1. Motivação e enquadramento.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Metodologia.....	3
2. Enquadramento teórico.....	5
2.1. Segurança estrutural .....	5
2.2. Estados limite .....	6
2.3. Ações .....	8
2.4. Combinações .....	10
3. Abordagem ao Eurocódigo 1 .....	15
3.1. Pesos próprios.....	15
3.2. Sobrecargas.....	16
3.2.1. Categorias de sobrecarga .....	16
3.2.2. Pavimentos gerais .....	18
3.2.3. Outros tipos de pavimento e empilhadores.....	19
3.3. Vento .....	22
3.3.1. Elementos teóricos e normativos .....	23
3.3.2. Pressão dinâmica de pico ( $q_p$ ).....	24
3.3.3. Coeficientes de pressão ( $c_{pe}$ , $c_{pi}$ ) .....	27
3.3.4. Faces .....	29
3.3.5. Coberturas.....	32
3.3.5.1. Coberturas em terraço.....	32
3.3.5.2. Coberturas de uma vertente .....	33
3.3.5.3. Coberturas de duas vertentes .....	35
3.3.5.4. Coberturas de quatro vertentes .....	38
3.4. Neve.....	39
3.4.1. Elementos teóricos e normativos .....	40
3.4.2. Efeitos Globais .....	44
3.4.3. Efeitos Locais .....	46
3.4.3.1. Obstáculos, platibandas e alpendres .....	46
3.4.3.2. Proximidade de construções mais altas .....	48
3.4.3.3. Guarda-neves e neve saliente .....	49
3.5. Térmica.....	51
3.5.1. Elementos teóricos e normativos .....	51
3.5.2. Determinação da variação de temperatura uniforme .....	52
3.6. Sísmica .....	55
3.6.1. Elementos teóricos e normativos .....	56
3.6.2. Espetros de resposta .....	61
4. Programa de cálculo .....	67
4.1. Linguagem.....	67
4.1.1. Variáveis e tipos de dados .....	67
4.1.2. Classes e objectos .....	68
4.1.3. Métodos .....	68
4.2. Utilização geral.....	69

4.2.1.	Opções .....	71
4.3.	Combinações e tratamento de dados .....	73
4.4.	Pesos próprios.....	76
4.4.1.	Funcionalidades .....	77
4.4.2.	Resultados.....	80
4.5.	Sobrecargas.....	81
4.5.1.	Funcionalidades .....	81
4.5.2.	Resultados.....	83
4.6.	Vento .....	83
4.6.1.	Funcionalidades .....	83
4.6.1.1.	Faces .....	83
4.6.1.2.	Coberturas.....	87
4.6.2.	Resultados.....	90
4.6.2.1.	Faces .....	90
4.6.2.2.	Coberturas.....	92
4.7.	Neve.....	97
4.6.3.	Funcionalidades .....	97
4.6.4.	Resultados.....	101
4.8.	Térmica.....	103
4.6.5.	Funcionalidades .....	103
4.6.6.	Resultados.....	105
4.9.	Sísmica .....	105
4.6.7.	Funcionalidades .....	105
4.6.8.	Resultados.....	107
5.	Exemplo prático.....	111
5.1.	Vento .....	111
5.2.	Neve.....	116
5.3.	Térmica.....	117
5.4.	Sísmica .....	118
5.5.	Combinações .....	119
6.	Considerações finais .....	121
6.1.	Conclusões.....	121
6.2.	Desenvolvimentos futuros .....	121
	Referências .....	123
	Anexo I – Pesos Volúmicos.....	125
	Anexo II – Distritos sob ação da neve .....	136
	Anexo III – Zonamento Sísmico .....	138

## SIMBOLOGIA

### *Letras maiúsculas latinas*

$C_e$	coeficiente de exposição.
$C_t$	coeficiente térmico.
$C_z$	coeficiente de zona.
$F_{rep}$	valor representativo da ação.
$F_s$	força exercida por uma massa deslizando de neve, na direção do deslizamento por unidade de comprimento do edifício.
$G_k$	valor característico de ação permanente.
$H$	altitude.
$I_v(z)$	turbulência à altura $z$ .
$Q_k$	valor característico de ação variável.
$R_k$	valor característico da resistência do material.
$S$	coeficiente de solo.
$Se/ag$	efeito sísmico em estruturas.
$S_e$	carga da neve saliente por metro de comprimento.
$S_e(T)$	espectro de resposta elástica.
$S_k$	valor característico das ações.
$T$ (térmica)	temperatura média de um elemento estrutural.
$T$ (sísmica)	período de vibração de uma estrutura.
$T_B$	limite inferior do período no patamar de aceleração espectral constante.
$T_C$	limite superior do período no patamar de aceleração espectral constante.
$T_D$	valor que define no espectro o início do ramo de deslocamento constante.
$T_0$	temperatura inicial de um elemento estrutural.
$T_{in}$	temperatura média do ambiente interior.
$T_{out}$	temperatura média do ambiente exterior.
$V_{b,0}$	valor básico da velocidade de referência do vento.

*Letras minúsculas latinas*

$a_g$	valor de cálculo da aceleração à superfície para um terreno do tipo A.
$a_{gR}$	aceleração máxima de referência.
$c_{pe}$	coeficiente de pressão exterior.
$c_{pi}$	coeficiente de pressão interior.
$c_{dir}$	coeficiente de direção.
$c_{season}$	coeficiente de sazão.
$c_r(z)$	coeficiente de rugosidade.
$c_o(z)$	coeficiente de orografia.
$k$	coeficiente que toma em conta a forma irregular da neve.
$l_s$	extensão de neve deslocada.
$q_p$	pressão dinâmica de pico, resultante da velocidade média e pequenas variações na velocidade do vento.
$s$	caso de carga da neve não deslocada mais condicionante.
$s_k$	carga da neve ao nível do solo.
$w_e$	pressão externa.
$w_i$	pressão interna.
$z_0$	comprimento de rugosidade.
$z_{0,II}$	$z_0$ da categoria de terreno II.
$z_e$	altura de referência externa.
$z_i$	altura de referência interna.
$z_{min}$	altura mínima definida nas categorias e parâmetros de terreno.

*Letras minúsculas gregas*

$\alpha$	inclinação da vertente em relação à horizontal.
$\gamma$	peso volúmico da neve.
$\gamma_s$	coeficiente de majoração das solicitações.
$\gamma_m$	coeficiente de minoração das resistências.
$\gamma_f$	coeficiente parcial relativo a uma ação.
$\gamma_G$	coeficiente parcial relativo às ações permanentes.
$\gamma_Q$	coeficiente parcial relativo às ações variáveis.

$\gamma_I$	coeficiente de importância.
$\eta$	coeficiente de correção do amortecimento.
$\mu_i$	coeficiente de forma para a carga da neve.
$\rho$	massa volúmica de ar.
$\Psi_0$	coeficiente para a determinação do valor de combinação de uma ação variável.
$\Psi_1$	coeficiente para a determinação do valor frequente de uma ação variável.
$\Psi_2$	coeficiente para a determinação do valor quase-permanente de uma ação variável.





# 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de uma aplicação informática denominada ***XD-Loads*** (*Xpress Design Loads*) que tem como objetivo quantificar de um modo expedito os valores de diversas ações presentes no Eurocódigo 1 (NP EN1991), bem como determinar os possíveis casos de influência simultânea das mesmas, ou seja, as combinações.

## 1.1. Motivação e enquadramento

A significativa evolução dos conceitos sobre segurança estrutural verificada a partir da segunda metade do século XX, impôs no seio do Comité Euro-International du Béton (CEB) a convicção de que não seria possível avançar eficazmente no aperfeiçoamento dos critérios de dimensionamento estrutural sem equacionar em bases mais científicas o problema da segurança. A consequência desta convicção levou á criação em 1971 do Joint-Committee on Structural Safety, um agrupamento de associações internacionais ás quais se devem regras diretamente aplicáveis na regulamentação, num documento editado em 1978 pelo CEB, sob a designação “*Règles Unifiées Communes aux Différents Types d’Ouvrages et de Matériaux*” [1]. Este mesmo documento pretendia tratar exclusivamente o problema da segurança das estruturas, indepentendemente do tipo de estruturas e dos materiais de construção utilizados. A partir deste documento, foram remodelados os regulamentos nacionais, sendo produto do mesmo a promulgação em 1983 do Decreto Lei 235/83, de 31 de Maio, também denominado “*Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes*” (RSA), que apresenta os critérios de verificação da segurança e quantifica as ações a ter em conta no dimensionamento de estruturas em vigor na lei Portuguesa [1].

Simultaneamente, início da decada de 80, a Comissão Europeia desencadeou a criação dos Eurocódigos, através do Comité Europeu de Normalização (CEN), atribuindo a este a publicação de Normas Europeias (EN) que visam harmonizar o projeto de estruturas de edifícios e de outras obras de engenharia de diferentes materiais. Deste modo, pretendia-se suspender barreiras técnicas e administrativas entre os vários Estados-Membros e aumentar a competitividade da indústria europeia [1].

Devido ao conteúdo profundamente técnico e científico das normas, é exigido por vezes a execução de processos não só complexos como também morosos e com grandes volumes de informação. Este é no entanto um problema que tem vindo a ser resolvido por outra área tecnológica, a da ciência de computação. A utilização de computadores para tratar grandes volumes de informação permite através da programação tornar processos outrora morosos, em tarefas simples, de execução rápida, fiável e acessíveis a todos, desde que o utilizador compreenda os conteúdos normativos. Deste modo o Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro desenvolve ferramentas de cálculo gratuitas sob a marca *CivilXD*, que pretendem resolver de um modo expedito os processos de quantificação e verificação estruturais exigidos pelas normas europeias, tornado essa informação acessível a todos os profissionais de engenharia.

A quantificação das ações e determinação das suas combinações é fundamental no dimensionamento de elementos estruturais, sendo portanto um componente transversal a todas as áreas de intervenção da engenharia civil. Dado que essa análise está também normalizada auxiliar o seu estudo através de um programa de cálculo revela-se um desafio extremamente aliciante.

## **1.2. Objetivos**

Pretende-se com este trabalho criar uma ferramenta de cálculo, em linguagem C# que de uma forma precisa, expedita e intuitiva quantifique as ações dos pesos próprios, sobrecargas, vento, neve, térmicas e sísmicas e simultâneamente determine as combinações a ter em conta para o cálculo estrutura. Pretende-se também que seja possível interpretar rapidamente os resultados, bem como os eventuais sentidos das ações, tal será auxiliado por diagramas de ação, nos tipos de ação que assim o exijam (como por ex. na ação do vento). O programa deverá também ser uniforme no tratamento das ações, permitindo a fácil interpretação dos resultados, sendo possível contrastar a informação apresentada pelo mesmo com a informação que está disponível no Eurocódigo 1. Cada tipo de ação será tratada individualmente e poderá ser tida em conta ou não nas combinações, sendo possível posteriormente exportar uma memória de cálculo com todas as opções definidas pelo utilizador em formato de texto bem como as combinações resultantes para formatos de dados, possíveis de ler noutras ferramentas, conferindo alguma flexibilidade de interação aos resultados obtidos.

### 1.3. Metodologia

Os conteúdos do presente documento iniciam-se com a apresentação de um enquadramento geral que visa esclarecer a motivação e os objectivos que deram origem à realização do programa “*XD-Loads*”.

Apresentam-se no capítulo segundo, fundamentos teóricos utilizados no estudo da segurança estrutural bem como elementos para a compreensão do efeito das ações em estruturas, e de que modo é possível obter uma quantificação realista das mesmas.

No capítulo terceiro é abordado o Eurocódigo 1 e as várias ações consideradas na realização deste trabalho. Este capítulo aborda os elementos de quantificação das ações e as considerações tidas em conta durante a criação do programa de cálculo.

O quarto capítulo irá apresentar o programa de cálculo na óptica do utilizador, indicando passo a passo que elementos devem ser introduzidos e qual a correcta interpretação dos resultados que o programa disponibiliza.

Posteriormente é apresentado no capítulo quinto um exemplo concreto de cálculo de um edifício, com apresentação das combinações resultantes. Neste caso o edifício possuirá características semelhantes ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

No sexto e último capítulo serão apresentadas as ilações provenientes da realização deste trabalho, bem como futuros desenvolvimentos a ser considerados no âmbito do programa de cálculo.



## 2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Neste capítulo serão brevemente descritos conceitos fundamentais de segurança estrutural, bem como as propriedades que constituem uma ação e uma combinação à luz do Eurocódigo 0.

### 2.1. Segurança estrutural

Atualmente a segurança e conforto durante a utilização das estruturas é garantida com base em estudos probabilísticos. É sabido que probabilidade de as ações tomarem valores muito elevados ou muito baixos é reduzida, e portanto a distribuição das probabilidades adoptada na análise de estruturas segue uma lei normal [2].

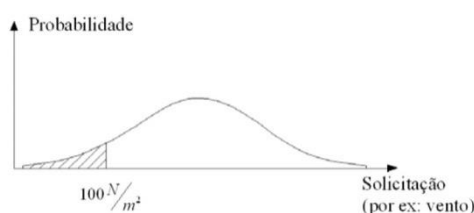


Figura 1. Distribuição de probabilidade de uma ação [2].

Tomando como exemplo o diagrama representado na Figura 1, se a área sombreada representar 20% da área total do diagrama, podemos concluir que em 20% dos casos o vento provoca ações inferiores a  $0.1 \text{ kN/m}^2$  [2].

No Eurocódigo 1 os valores representativos das ações são denominados valores característicos, e correspondem geralmente a 95% do diagrama de probabilidades, ou seja, apenas em 5% dos casos o valor da ação superará o valor característico.

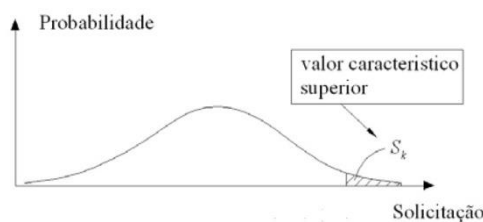


Figura 2. Valor característico de uma ação [2].

Em contraste, a resistência de um material está definida em normas independentes (Eurocódigo 2, 3, etc..), mas a probabilidade de um material sustentar um estado de tensão sem comprometer a segurança segue também uma lei normal e portanto podemos garantir a segurança contrastando os efeitos das ações, com a resistência do material. Este conceito de segurança envolve também a agravação dos valores representativos das ações (valores de cálculo), multiplicando os valores característicos por coeficientes parciais de segurança  $\gamma$ . Assim sendo a segurança estrutural é estatisticamente representada de acordo com a Figura 3.

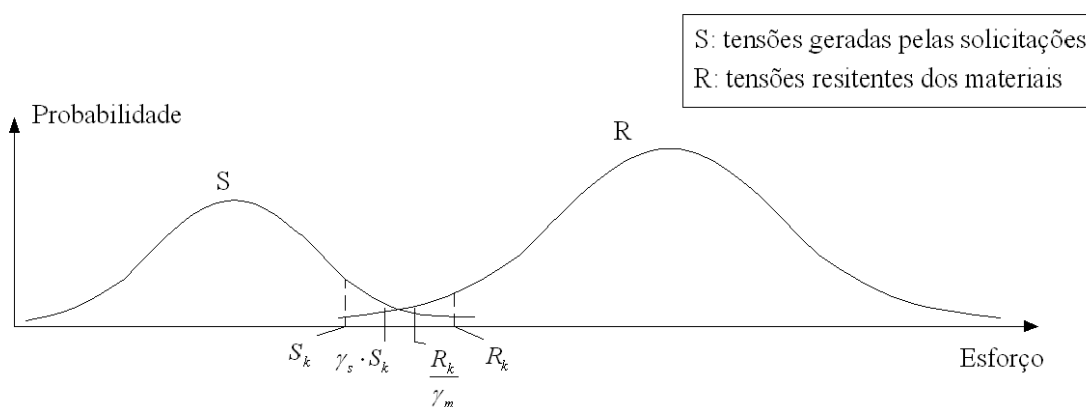


Figura 3. Verificação da segurança [2].

em que:

$\gamma_s$  é o coeficiente de majoração das solicitações (por exemplo  $\gamma_s = 1.5$ ).

$\gamma_m$  é o coeficiente de minoração das resistências.

$S_k$  e  $R_k$  são o valor característico das ações e da resistência dos materiais respetivamente.

De acordo com a Figura 3, se  $\gamma_s \cdot S_k \leq \frac{R_k}{\gamma_m}$  então verifica-se a segurança.

## 2.2. Estados limite

A maioria das ações presentes em estruturas é variável e portanto é economicamente ruinoso considerar que todas as ações actuam simultaneamente. Até meados dos anos 50 as combinações de ações não tinham em conta qualquer probabilidade de as mesmas não actuarem em conjunto, nem consideravam um factor de segurança baseado em probabilidades [3].

Estas lacunas no dimensionamento estrutural foram colmatadas com a filosofia de estado limite que incluem o conceito de coeficientes parciais de segurança e coeficientes de combinação baseados em estudos probabilísticos. Desta forma é possível dimensionar os elementos estruturais para diversas combinações de ações, representando de um modo mais realista o seu efeito durante o ciclo de vida da estrutura [3]. Podemos dizer que um estado limite é o estado para além do qual a estrutura deixa de ter um comportamento satisfatório no que toca à segurança ou utilização da mesma. Na prática, um estado limite traduz-se num estudo probabilístico simplificado, através das combinações de ações.

De acordo com os Eurocódigos existem dois estados limite a ter em conta, estados limite últimos, associados ao colapso ou à ruína estrutural, que estão relacionados com a segurança e estados limite de utilização, que estão relacionados com o conforto e aspeto da estrutura.

O Eurocódigo 0 distingue os seguintes tipos de estado limite último a considerar quando pertinentes:

- Perda de equilíbrio do conjunto ou parte da estrutura, considerada como corpo rígido (EQU).
- Rotura ou deformação excessiva da estrutura ou dos elementos estruturais incluindo sapatas, estacas, muros, em que a resistência do material estrutural é condicionante (STR).
- Rotura ou deformação excessiva do terreno (GEO).
- Rotura por fadiga (FAT).

Os estados limites estão também associados a situações de projeto, sendo estas classificadas da seguinte forma:

- Situações de projeto persistentes, correspondem a condições normais de utilização.
- Situações de projeto transitórias, correspondem a condições temporárias aplicáveis à estrutura, como por exemplo durante a construção ou reparação.
- Situações de projeto acidentais, correspondem a condições excepcionais aplicáveis à estrutura ou à sua exposição como por exemplo incêndios, explosões.
- Situações de projeto sísmicas, correspondem a condições aplicáveis à estrutura quando sujeita à ação dos sismos.

Relativamente aos estados limite últimos a sua situação de projeto tem implicações no tipo de combinações utilizadas no cálculo estrutural e na quantificação de ações, ao passo que o tipo de verificação de estado limite último tem implicações sobretudo na definição dos coeficientes de segurança. Os estados limite de serviço envolvem também tipos de combinações diferentes e são, na prática, utilizados no dimensionamento dos materiais de modo a preservar o conforto durante a utilização da estrutura.

### 2.3. Ações

Uma estrutura é definida como sendo uma “combinação organizada de peças interligadas, concebida para suportar acções e assegurar a rigidez adequada”, assim sendo, podemos definir uma ação como um conjunto de forças (cargas) e o conjunto de deformações ou acelerações impostas à estrutura.

As ações devem ser classificadas, de acordo com a sua variação no tempo, da seguinte forma:

- Ações permanentes ( $G$ ), como, por exemplo, o peso próprio das estruturas, dos equipamentos fixos e dos pavimentos rodoviários, e as ações indiretas causadas por retração e assentamentos diferenciais.
- Ações variáveis ( $Q$ ), como, por exemplo, as sobrecargas nos pavimentos, vigas e coberturas dos edifícios, a ação do vento ou a ação da neve.
- Ações de acidente ( $A$ ), como, por exemplo, explosões ou choque provocado por veículos.

As ações permanentes são aquelas com elevada probabilidade de atuar num determinado período de referência e cuja variabilidade é desprezável ou é sempre no mesmo sentido. Como exemplo temos os pesos próprios e as ações indiretas causadas por retração e assentamentos diferenciais. Por outro lado, uma ação variável é aquela cuja variação de intensidade no tempo não é desprezável, nem é sempre no mesmo sentido, como por exemplo sobrecargas nos pavimentos, ação do vento, ou ação da neve. Uma ação acidental é uma ação geralmente de curta duração, mas com intensidade significativa, tendo uma probabilidade de ocorrência reduzida durante o tempo de vida útil da estrutura.

Além disso as ações devem ser caracterizadas de acordo com:

- A sua origem, sendo directas ou indirectas.
- A sua variação no espaço, sendo fixas ou livres.



- A sua natureza, como estáticas ou dinâmica.

A origem das ações distingue-se no modo com as ações são aplicadas. Tratando-se de cargas aplicadas diretamente, como no caso de sobrecargas ou pesos próprios considera-se que a ação é directa. Tratando-se de deformações impostas como por exemplo de ações térmicas considera-se que a ação é indirecta. A variação no espaço define apenas se a ação actua sempre no mesmo local, como por exemplo os pesos próprios, ou se o local onde são aplicadas varia, como por exemplo as sobrecargas. A natureza das ações pretende indicar se a ação exerce acelerações na estrutura, no caso de ser dinâmica, como por exemplo no caso da ação sísmica.

As ações podem ainda apresentar efeitos globais e efeitos locais, em que os efeitos globais dizem respeito à generalidade da estrutura, e os efeitos locais a pequenas particularidades na estrutura. Os efeitos locais são utilizados para verificar a segurança de elementos secundários, como por exemplo os degraus de uma escada, e não figuram portanto nas combinações de ações.

O valor representativo de uma ação é o seu valor característico  $F_k$  que é especificado como um valor médio, ou um valor superior ou inferior, ou um valor nominal que não se refere a uma distribuição estatística conhecida. Para as ações permanentes é geralmente considerado um único valor  $G_k$  igual ao valor médio, desde que a variabilidade de  $G$  possa ser considerada desprezável. Para as ações variáveis é geralmente considerado um valor superior, com uma determinada probabilidade de não ser excedido, ou um valor inferior com uma certa probabilidade de ser atingido, durante um período de referência.

O valor característico  $F_k$  de ações variáveis poderá ser multiplicado por coeficientes  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  ou  $\psi_2$ , quando necessário determinar valores de combinação, frequentes ou quase permanentes das ações para a verificação de estados limites últimos e estados limite de utilização.

O valor de cálculo  $F_d$  de uma ação, pode ser determinado de acordo com a expressão (1):

$$F_d = \gamma_f \cdot F_{rep} \quad (1)$$

em que:

$\gamma_f$  – coeficiente parcial relativo à ação.

$F_{rep}$  – valor representativo da ação.

## 2.4. Combinações

As ações são combinadas através de casos de carga, que têm em conta quando uma ação actua em diferentes elementos com intensidades diferentes, mas simultaneamente. Para obter os valores de cálculo dos efeitos das ações  $E_d$ , devem ser combinados individualmente os vários casos de carga de cada ação, com cada caso de carga de cada uma das restantes ações a considerar.

Para estados limites últimos associados a situações de projeto persistentes ou transitórias as ações devem ser combinadas de acordo com a expressão 6.10 do eurocódigo 0 (expressão (2)):

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_p \cdot P + \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (2)$$

em que:

$\gamma_G$  – coeficiente parcial relativo às ações permanentes.

$\gamma_Q$  – coeficiente parcial relativo às ações variáveis.

$\psi_0$  – coeficiente para a determinação do valor de combinação de uma ação variável.

$G_{k,j}$  – ações permanentes.

$Q_{k,1}$  – variável base de combinação.

$Q_{k,i}$  – restantes ações variáveis a combinar.

" + " – significa “a combinar com”.

Como se verifica na expressão, os elementos de cálculo consideram o valor característico, um coeficiente  $\psi$  e um coeficiente parcial, pelo que estamos a combinar valores de cálculo dos casos de carga das ações.

Os coeficientes parciais são coeficientes que têm em atenção a possibilidade de desvios desfavoráveis do valor da ação em relação aos seus valores representativos. Para a verificação da rotura ou deformação excessiva dos elementos estruturais o Eurocódigo 0 apresenta a seguinte tabela (Tabela 1) que visa elucidar a utilização dos coeficientes parciais:

Tabela 1. Valores de cálculo das ações (STR/GEO) (Conjunto B) [9].

Situações de projecto persistentes e transitórias	Acções permanentes		Pré-esforço	Acção variável de base da combinação <sup>*)</sup>	Acções variáveis acompanhantes <sup>*)</sup>
	Desfavoráveis	Favoráveis	$\gamma_P P$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
(Expressão 6.10)	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$			

<sup>\*)</sup> As acções variáveis são as consideradas no Quadro A1.1.

**NOTA 1:** As combinações de acções indicadas nas expressões (6.10a) e (6.10b) não devem ser utilizadas.

**NOTA 2:** Os valores de  $\gamma_F$  que devem ser adoptados são os seguintes:  
 $\gamma_{Gj,sup} = 1,35$   
 $\gamma_{Gj,inf} = 1,00$   
 $\gamma_{Q,1} = 1,50$  nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis)  
 $\gamma_{Q,i} = 1,50$  nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis)  
 $\gamma_F$  - os valores deste coeficiente constam dos Eurocódigos aplicáveis.  
Para os valores de  $\gamma_a$  utilizar para as deformações impostas, ver os Eurocódigos aplicáveis.

**NOTA 3:** Os valores característicos de todas as acções permanentes com a mesma origem são multiplicados por  $\gamma_{Gj,sup}$ , caso o efeito total das acções resultante seja desfavorável, e por  $\gamma_{Gj,inf}$ , caso o efeito total das acções resultante seja favorável. Por exemplo, todas as acções devidas ao peso próprio da estrutura podem ser consideradas como sendo da mesma origem; tal também se aplica se estiverem envolvidos diferentes materiais.

**NOTA 4:** Para determinadas verificações, os valores de  $\gamma_G$  e de  $\gamma_Q$  podem ser subdivididos em  $\gamma_g$  e  $\gamma_q$  e no coeficiente de incerteza do modelo  $\gamma_{sd}$ . Na maioria dos casos correntes, pode utilizar-se um valor de  $\gamma_{sd}$  variando entre 1,05 e 1,15.

Para estados limites de serviço as combinações dependem dos requisitos de utilização e dos critérios de desempenho a verificar. Como tal, o Eurocódigo 0 apresenta os seguintes tipos de combinação [4]:

- Combinação característica (ou rara) – correspondem a estados limite de muito curta duração. Combinações de ações que irão solicitar a estrutura em apenas algumas horas do seu período de vida.
- Combinação frequente – correspondem a estados limite de curta duração. Combinações de ações com duração de cerca de 5% do período de vida da estrutura.
- Combinação quase-permanente – correspondem a estados limite de longa duração. Combinações de ações que podem actuar durante metade do tempo de vida da estrutura.

As expressões que definem estas combinações são as seguintes:

Combinação característica (ou rara):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \text{ " + " P " + " } Q_{k,1} \text{ " + " } \sum_{j \geq 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (3)$$

Combinação frequente:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \text{ " + " P " + " } \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \text{ " + " } \sum_{j \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (4)$$

Combinação quase-permanente:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \text{ " + " P " + " } \sum_{j \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (5)$$

em que:

$\psi_0$  – coeficiente para a determinação do valor de combinação de uma ação variável.

$\psi_1$  – coeficiente para a determinação do valor frequente de uma ação variável.

$\psi_2$  – coeficiente para a determinação do valor quase-permanente de uma ação variável.

Relativamente aos coeficientes  $\psi$  apresentados para os vários estados limite os mesmos são referidos no Eurocódigo 0 de acordo com a Tabela 2.

Os coeficientes  $\psi$ , são coeficientes que têm em conta a probabilidade de várias ações distintas actuarem simultâneamente [6].

Tabela 2. Valores de coeficientes  $\psi$  recomendados [9].

Acção	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Sobrecargas em edifícios (ver a EN 1991-1-1)			
Categoria A: zonas de habitação	0,7	0,5	0,3
Categoria B: zonas de escritórios	0,7	0,5	0,3
Categoria C: zonas de reunião de pessoas	0,7	0,7	0,6
Categoria D: zonas comerciais	0,7	0,7	0,6
Categoria E: zonas de armazenamento	1,0	0,9	0,8
Categoria F: zonas de tráfego, peso dos veículos $\leq 30$ kN	0,7	0,7	0,6
Categoria G: zonas de tráfego, $30 \text{ kN} < \text{peso dos veículos} \leq 160 \text{ kN}$	0,7	0,5	0,3
Categoria H: coberturas	0	0	0
Acção da neve em edifícios (ver a EN 1991-1-3) <sup>*)</sup>			
– Finlândia, Islândia, Noruega, Suécia	0,70	0,50	0,20
– Restantes Estados-Membros do CEN, para obras localizadas à altitude $H > 1000$ m acima do nível do mar	0,70	0,50	0,20
– Restantes Estados-Membros do CEN, para obras localizadas à altitude $H \leq 1000$ m acima do nível do mar	0,50	0,20	0
Acção do vento em edifícios (ver a EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperatura (excepto incêndio) em edifícios (ver a EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
<b>NOTA:</b> Os valores de $\psi$ poderão ser definidos no Anexo Nacional.			
<sup>*)</sup> Para os países não mencionados, considerar as condições locais relevantes.			



### 3. ABORDAGEM AO EUROCÓDIGO 1

Neste capítulo irão ser abordadas e interpretadas as várias partes que constituem o Eurocódigo 1 e que são a base do programa de cálculo desenvolvido.

#### 3.1. Pesos próprios

O peso próprio das construções rege-se pela norma NP EN 1991-1-1, a qual fornece regras para a determinação do seu valor característico bem como outras considerações acerca dos mesmos. Os pesos próprios devem ser classificados como uma ação permanente fixa. No entanto o peso próprio pode por vezes tratar-se de uma ação livre, como é o caso de divisórias amovíveis. Se assim for o peso próprio das divisórias amovíveis deve ser considerado uma sobrecarga, da qual resulta uma carga equivalente uniformemente distribuída. No caso de o peso próprio poder variar no tempo deverá ser tido em conta o seu valor característico superior e inferior devido à existência de combinações onde o mesmo pode ser favorável e outras onde pode ser considerado desfavorável.

O peso de um corpo é dado pela força gravitacional (N) que o corpo exerce e depende da massa (kG) e aceleração gravítica ( $m/s^2$ ) do mesmo. De acordo com a norma, entende-se por peso próprio de uma construção o peso do conjunto de elementos que constituem a estrutura e também o peso de diversos elementos não estruturais, tais como :

- Revestimentos de coberturas e paredes;
- Acabamentos de superfície e recobrimentos;
- Divisórias fixas;
- Isolamento térmico;
- Equipamento para elevadores e escadas rolantes;
- Equipamento de aquecimento, ventilação e ar condicionado;
- Equipamentos eléctricos;
- Conduitas sem o respetivo conteúdo;
- Redes e conduitas de cabos.

Os pesos próprios devem na maior parte dos casos ser representados por um único valor característico, sendo a excepção quando há variação do peso próprio no tempo. O valor característico deve calculado com base nas dimensões nominais dos elementos e nos valores

característicos dos pesos volúmicos correspondentes. Com vista a auxiliar esta tarefa, o Anexo A da norma EN 1991-1-1 (2009) contém diversas tabelas com os pesos volúmicos não só de materiais de construção, mas também de materiais de armazenamento. As mesmas poderão ser encontradas no anexo deste documento.

Para efeitos de combinação de ações o peso próprio total dos elementos estruturais e não estruturais deverá ser considerado como uma única ação.

### **3.2. Sobrecargas**

As sobrecargas são, à semelhança dos pesos próprios, regidas pela norma NP EN 1991-1-1, a qual fornece regras para a determinação dos seus valores característicos bem como outras considerações acerca das mesmas. As sobrecargas são classificadas como ações variáveis livres, e como tal só podem ser aplicadas em zonas a que correspondem valores desfavoráveis para o efeito em causa, pois caso os valores sejam favoráveis, tratando-se de uma ação variável os valores que a ação toma devem ser nulos.

Entende-se por sobrecarga uma carga que resulta da ocupação de um edifício. Os valores apresentados pela norma têm em conta a utilização norma de pessoas, mobiliário e objetos móveis (incluindo divisórias móveis), veículos e eventos raros previsíveis como a concentração de pessoas ou mobiliário, bem como a movimentação ou o empilhamento de objectos.

As sobrecargas apresentadas na norma são modeladas por cargas lineares ou superficiais uniformemente distribuídas, por cargas concentradas, ou por combinação destes três tipos de cargas.

Para efeitos de combinação de ações, o conjunto das sobrecargas incluídas num determinado caso de carga deve ser considerado como uma única ação. Este conjunto abrange no entanto todas as ações variáveis resultantes da ocupação do edifício [5].

#### **3.2.1. Categorias de sobrecarga**

O valor característico da sobrecarga depende da utilização prevista da estrutura ou compartimento e está organizada em 10 categorias que podem ser resumidas da seguinte forma:

- Zonas residenciais, sociais, comerciais e administrativas (Categorias A a D);
- Zonas de armazenamento e de atividades industriais (Categoria E);



- Garagens e zonas de circulação de veículos (excluindo pontes) (Categorias F e G);
- Coberturas (Categorias H, I e K).

Especificamente a norma apresenta uma tabela de categorias com vista a classificar os pavimentos ou coberturas de acordo com a sua utilização.

Tabela 3. Categorias de utilização gerais [10].

Categoria	Utilização específica	Exemplos
A	Actividades domésticas e residenciais	Salas em edifícios de habitação; quartos e enfermarias de hospitais; quartos de hotéis, cozinhas e lavabos.
B	Escritórios	
C	Locais de reunião (com excepção das utilizações correspondentes às categorias A, B e D) <sup>1)</sup>	<p><b>C1:</b> Zonas com mesas, etc.; por exemplo, em escolas, cafés, restaurantes, salões de jantar, salas de leitura, recepções.</p> <p><b>C2:</b> Zonas com assentos fixos; por exemplo, em igrejas, teatros ou cinemas, salas de conferências, salas de aulas, salas de reunião, salas de espera.</p> <p><b>C3:</b> Zonas sem obstáculos para a movimentação de pessoas; por exemplo, em museus, salas de exposição, etc. e em acessos de edifícios públicos e administrativos, hotéis, hospitais, e em átrios de entrada de estações de comboio.</p> <p><b>C4:</b> Zonas em que são possíveis actividades físicas; por exemplo, salões de dança, ginásios, palcos.</p> <p><b>C5:</b> Zonas de possível acolhimento de multidões; por exemplo, edifícios para eventos públicos, tais como salas de concertos, salas para actividades desportivas incluindo bancadas, terraços e zonas de acesso; plataformas ferroviárias.</p>
D	Actividades comerciais	<p><b>D1:</b> Zonas de lojas em geral.</p> <p><b>D2:</b> Zonas de grandes armazéns.</p>

Tabela 4. Categorias de armazenamento e atividades industriais [10].

Categoria	Utilização específica	Exemplo
E1	Locais susceptíveis de acumulação de mercadorias, incluindo zonas de acesso	Zonas de armazenamento, incluindo livros e outros documentos
E2	Actividades industriais	

Tabela 5. Categorias de zonas de circulação e estacionamento em edifícios [10].

Categoria	Utilização específica	Exemplos
F	Locais de circulação e de estacionamento para veículos ligeiros ( $\leq 30$ kN de peso bruto e $\leq 8$ lugares, não incluindo o do condutor)	Garagens; zonas de estacionamento; zonas de estacionamento em altura
G	Locais de circulação e de estacionamento para veículos médios ( $> 30$ kN, $\leq 160$ kN de peso bruto, em 2 eixos)	Vias de acesso; zonas de carga e descarga; zonas acessíveis a veículos de bombeiros ( $\leq 160$ kN de peso bruto)
<p><b>NOTA 1:</b> O acesso a zonas projectadas de acordo com a categoria F deverá ser limitado por meios físicos fixados à estrutura.</p> <p><b>NOTA 2:</b> Nas zonas projectadas de acordo com as categorias F e G deverão ser afixados sinais de aviso adequados.</p>		

Tabela 6. Categorias de coberturas [10].

Categoria	Utilização específica
H	Coberturas não acessíveis, excepto para operações de manutenção e reparação correntes
I	Coberturas acessíveis com utilizações definidas nas Categorias A a G

### 3.2.2. Pavimentos gerais

De acordo com as categorias indicadas, encontram-se disponíveis os valores característicos a considerar para cada tipo de pavimento. A norma apresenta dois tipos distintos de valores característicos, em que  $q_k$  representa uma carga de superfície uniformemente distribuída, e  $Q_k$  uma carga concentrada, onde a primeira destina-se à determinação de efeitos globais, e a segunda à determinação de efeitos locais.

Tabela 7. Sobrecargas em pavimentos, varandas e escadas de edifícios [10].

<i>Categorias de zonas carregadas</i>	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]
<b>Pavimentos</b>		
<i>Categoria A</i>	2,0	2,0
<i>Categoria B</i>	3,0	4,0
<i>Categoria C</i>		
C1	3,0	4,0
C2	4,0	4,0
C3	5,0	4,0
C4	5,0	7,0
C5	6,0	4,5
<i>Categoria D</i>		
D1	4,0	4,0
D2	5,0	6,0
<b>Varandas</b>	<i>Ver a Nota 1</i>	<i>Ver a Nota 3</i>
<b>Escadas</b>	<i>Ver a Nota 2</i>	<i>Ver a Nota 3</i>
<p><b>NOTA 1:</b> Deve adoptar-se uma sobrecarga uniformemente distribuída idêntica à do pavimento adjacente, com um mínimo de 5,0 kN/m<sup>2</sup> numa faixa de 1 m de largura adjacente ao parapeito.</p> <p><b>NOTA 2:</b> Deve adoptar-se uma sobrecarga uniformemente distribuída idêntica à do pavimento adjacente, com um mínimo de 3,0 kN/m<sup>2</sup>.</p> <p><b>NOTA 3:</b> Deve adoptar-se uma sobrecarga concentrada idêntica à do pavimento adjacente.</p>		

Podemos ainda considerar o peso próprio de divisórias amovíveis como uma sobrecarga uniformemente distribuída  $q_k$  a adicionar às sobrecargas do tipo de pavimento na Tabela 7 desde que o pavimento possua uma constituição que permita uma distribuição eficaz das cargas. A carga  $q_k$  a adicionar depende do peso próprio da divisória e toma os seguintes valores:

- Para divisórias amovíveis com um peso próprio  $\leq 1,0\text{kN/m}$  de comprimento de parede,  $q_k = 0,5\text{kN/m}^2$ ;
- Para divisórias amovíveis com um peso próprio  $> 1,0\text{kN/m}$  e  $\leq 2,0\text{kN/m}$  de comprimento de parede,  $q_k = 0,8\text{kN/m}^2$ ;
- Para divisórias amovíveis com um peso próprio  $\geq 2,0\text{kN/m}$  e  $\leq 3,0\text{kN/m}$  de comprimento de parede,  $q_k = 1,2\text{kN/m}^2$ .

### 3.2.3. Outros tipos de pavimento e empilhadores

Para outros tipos de pavimento como armazéns ou de circulação de veículos, ou sobrecargas causadas por empilhadores a norma apresenta também valores característicos.

A norma apresenta os valores característicos para a Categoria E1 em pavimentos de armazenamento. Relativamente à Categoria E2 que se refere a atividades industriais, a mesma deve ser avaliada de acordo com a utilização prevista e tendo em conta o equipamento a instalar, de acordo com a norma EN 1991-3, pelo que a norma EN 1991-1-1 não apresenta valores para essa categoria.

Tabela 8. Sobrecargas em pavimentos devido a armazenamento [10].

<i>Categorias de zonas carregadas</i>	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]
<i>Categoria E1</i>	7,5	7,0

Relativamente a empilhadores é necessário consultar a classe do empilhador para determinar a carga que este provoca. A carga provocada por um empilhador é considerada concentrada e o valor característico representa a carga provocada por cada eixo do empilhador. De acordo com a nota nacional a área carregada é composta por quadrados com 0,2m de lado.

Tabela 9. Cargas por eixo dos empilhadores [10].

Classe do empilhador	Carga por eixo $Q_k$ [kN]
FL 1	26
FL 2	40
FL 3	63
FL 4	90
FL 5	140
FL 6	170

Tabela 10. Dimensões dos empilhadores de acordo com a classe FL [10].

Classe do empilhador	Tara [kN]	Carga de elevação [kN]	Distância entre rodas $a$ [m]	Largura total $b$ [m]	Comprimento total $l$ [m]
FL 1	21	10	0,85	1,00	2,60
FL 2	31	15	0,95	1,10	3,00
FL 3	44	25	1,00	1,20	3,30
FL 4	60	40	1,20	1,40	4,00
FL 5	90	60	1,50	1,90	4,60
FL 6	110	80	1,80	2,30	5,10

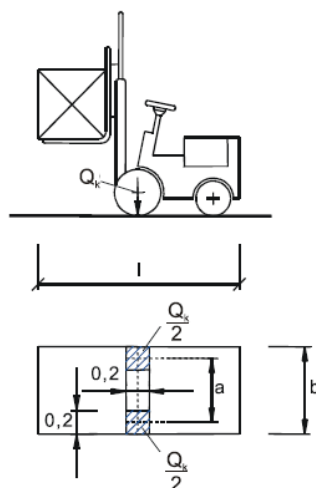


Figura 4. Dimensões e carga provocada por empilhador [10].

No que toca às sobrecargas em estacionamentos e zonas de circulação de veículos as cargas concentradas, à semelhança de empilhadores, referem-se á carga provocada pelos dois eixos dos veículos. O lado “a” de cada quadrado a que corresponde a área de ação corresponde a 100mm no caso da Categoria F e a 200mm no caso da categoria G.

Tabela 11. Sobrecargas em estacionamentos e zonas de circulação de veículos [10].

Categoria	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]
Categoria F Peso bruto do veículo $\leq 30$ kN	2,5	15
Categoria G $30$ kN < peso bruto do veículo $\leq 160$ kN	5,0	75
<i>NOTA: As cargas <math>q_k</math> e <math>Q_k</math> não devem ser aplicadas simultaneamente.</i>		

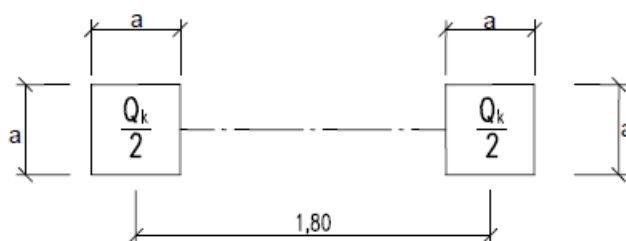


Figura 5. Área de ação de veículos [10].

Para as coberturas acessíveis, que correspondem à Categoria I, devemos de acordo com a utilização prevista utilizar os valores característicos das categorias A a G, por exemplo se se

tratar de uma cobertura onde esteja prevista a circulação de veículos com peso bruto inferior a 30kN, utilizaríamos os valores característicos da Categoria F. Para as restantes coberturas a norma apresenta a tabela aqui referida como Tabela 12.

Tabela 12. Sobrecargas em coberturas da categoria H [10].

Cobertura	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]
Categoria H	0,4	1,0
<i>NOTA: A sobrecarga uniformemente distribuída <math>q_k</math> pode actuar em toda ou em parte da área da cobertura.</i>		

Encontra-se ainda uma referência a cargas horizontais em divisórias e em parapeitos e guarda-corpos que se traduzem em cargas lineares (kN/m), a ter em conta em elementos verticais com função de guarda.

Tabela 13. Cargas horizontais em paredes divisórias e em parapeitos e guarda-corpos [10].

Zonas carregadas	$q_k$ [kN/m]
Categoria A	0,5
Categorias B e C1	0,7
Categorias C2 a C4 e D	1,0
Categoria C5	3,0
Categoria E	2,0

### 3.3. Vento

As ações provocadas pelo vento regem-se pela norma NP EN 1991-1-4, a qual fornece orientações relativamente à sua determinação. As ações provocadas pelo vento devem ser consideradas ações variáveis fixas.

No âmbito deste trabalho as ações provocadas pelo vento consideradas correspondem ao seu efeito em edifícios, ou seja, estruturas porticadas, até uma altura de 100 metros.

As ações do vento variam em função do tempo e actuam directamente, na forma de pressões, sobre as superfícies exteriores das construções e nas superfícies interiores de

construções abertas. Nas construções fechadas, actuam também, indirectamente, sobre as superfícies interiores.

A ação do vento é representada por um conjunto simplificado de pressões ou de forças, cujo efeito depende da dimensão, da forma e das propriedades dinâmicas da estrutura. A norma não abrange construções com altura superior a 200 metros, pontes suspensas, torres em treliça, entre outras situações particulares.

### 3.3.1. Elementos teóricos e normativos

As forças exercidas pelo vento  $F_w$ , podem ser determinadas de duas formas, a partir de pressões nas superfícies, ou a partir de coeficientes de força.

As pressões exercidas pelo vento nas superfícies de uma construção, são assim obtidas:

$$w_e = c_{pe} \cdot q_p(z_e) \quad (6)$$

$$w_i = c_{pi} \cdot q_p(z_i) \quad (7)$$

em que:

$w_e$  – pressão externa.

$w_i$  – pressão interna.

$c_{pe}, c_{pi}$  – coeficientes de pressão externa e interna respetivamente.

$z_e, z_i$  – alturas de referência externa e interna, respetivamente.

$q_p$  – pressão dinâmica de pico, resultante da velocidade média e pequenas variações na velocidade do vento.

A pressão resultante exercida num dado elemento estrutural é a diferença entre as pressões que actuam sobre as faces opostas, tendo em conta os seus sentidos. Isto acontece porque na convenção adoptada pela norma os sentidos das pressões externas e internas são inversos, tal como indica a Figura 6. Esta convenção torna particularmente simples a determinação das pressões que actuam num elemento através da expressão (8).

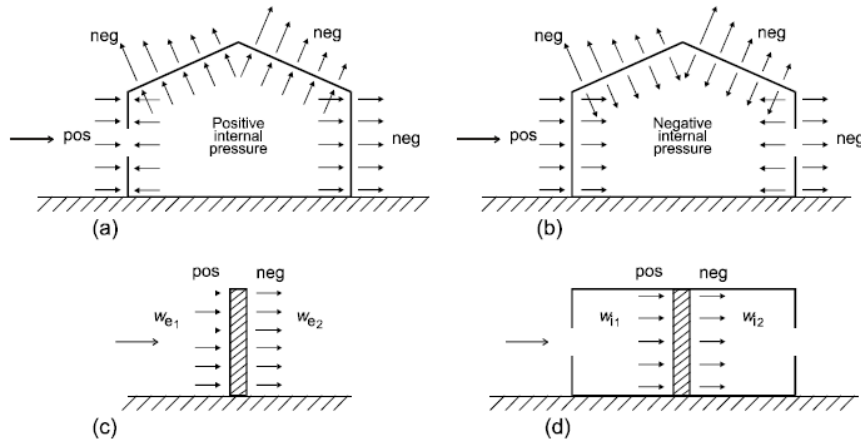


Figura 6. Pressão exercida em superfícies [13].

$$w = w_e - w_i = q_p(z_e) \cdot c_{pe} - q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad (8)$$

Considerando que as alturas de referência assumem o mesmo valor, é possível resumir as pressões exercidas pelo vento através da expressão (9):

$$w = w_e - w_i = q_p(z_e) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) \quad (9)$$

As alturas de referência são parâmetros fundamentais para definir a a pressão exercida pelo vento em superfícies sendo a pressão dinâmica de pico  $q_p$ , função das mesmas. A altura de referência interna  $z_i$ , a utilizar para determinar a pressão dinâmica interior é sempre igual à altura da construção. A altura de referência externa  $z_e$ , depende da geometria da construção e será abordada com detalhe no sub-capítulo “*Faces*”. A pressão dinâmica de pico  $q_p$ , bem como os coeficientes de pressão  $c_{pe}$  e  $c_{pi}$ , serão também abordados nos respectivos subcapítulos, devido à complexidade dos mesmos.

Relativamente às combinações os valores de  $c_{pe}$  fornecidos pela norma para os diversos elementos devem ser utilizados para as direções ortogonais do vento  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  e  $270^\circ$  em relação ao edifício, pelo que iremos ter sempre quatro casos de carga a considerar.

### 3.3.2. Pressão dinâmica de pico ( $q_p$ )

A pressão dinâmica é um parâmetro utilizado no cálculo das pressões que tem em conta a velocidade do vento, a orografia do terreno, a sua turbulência, entre outros elementos que visam caracterizar *de facto* qual o comportamento do vento.



O primeiro elemento a ter em conta é o valor de referência da velocidade média do vento  $V_b$ , que tem uma probabilidade anual de ser excedido igual a 0,02. O mesmo é calculado através de:

$$V_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot V_{b,0} \quad (10)$$

em que:

$V_{b,0}$  – valor básico da velocidade de referência do vento.

$c_{dir}$  – coeficiente de direção.

$c_{season}$  – coeficiente de sazão.

O valor básico da velocidade de referência do vento  $V_{b,0}$  é um valor característico da velocidade média do vento a períodos de 10 minutos, que além de ser independente da direção do vento e da época do ano é determinado a uma altura de 10 metros acima do solo em terreno do tipo campo aberto. Este valor é indicado na norma e depende do zonamento nacional.

Tabela 14. Valor básico da velocidade de referência do vento [13].

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]
A	27
B	30

em que:

Zona A – generalidade do território excepto regiões pertencentes à zona B.

Zona B – os arquipélagos dos Açores e da Madeira e as regiões do continente situadas numa faixa costeira com 5km ou altitudes superiores a 600m.

Relativamente aos coeficientes de sazão e direção, o valor a adoptar é em geral de 1,0, embora em situações específicas possa ser considerado um valor reduzido de 0,9 e 0,85 respetivamente. No decorrer deste trabalho, o seu valor foi sempre considerado unitário.

A partir do valor de referência da velocidade média do vento  $V_b$ , é possível determinar a velocidade média do vento a uma altura  $z$  acima do solo  $V_m(z)$ , que é também função da rugosidade do terreno e da orografia local:

$$V_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot V_b \quad (11)$$

em que:

$c_r(z)$  – coeficiente de rugosidade.

$c_o(z)$  – coeficiente de orografia.

Para determinar o coeficiente de rugosidade a norma apresenta quatro categorias de terreno distintas que se apresentam de acordo com a Tabela 15:

Tabela 15. Categorias e parâmetros de terreno [13].

Categoria de terreno		$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
I	Zona costeira exposta aos ventos de mar	0,005	1
II	Zona de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados (árvores, edifícios) com separações entre si de, pelo menos, 20 vezes a sua altura	0,05	3
III	Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si de, no máximo, 20 vezes a sua altura (por exemplo: zonas suburbanas, florestas permanentes)	0,3	8
IV	Zona na qual pelo menos 15 % da superfície está coberta por edifícios com uma altura média superior a 15 m	1,0	15

$$c_r(z) = 0,19 \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} \cdot \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \text{ para } z_{min} \leq z \leq 200 \quad (12)$$

$$c_r(z) = c_r(z_{min}) \text{ para } z \leq z_{min} \quad (13)$$

em que:

$z_0$  – comprimento de rugosidade.

$z_{0,II}$  –  $z_0$  da categoria de terreno II.

$z_{min}$  – altura mínima definida nas categorias e parâmetros de terreno.

O coeficiente de orografia é por sua vez, geralmente unitário podendo os seus efeitos ser desprezados caso o declive médio do terreno a barlavento (terreno adjacente à face na qual incide o vento) não ultrapasse 3°, ou as velocidades do vento não sejam aumentadas em mais de 5%. Com o coeficiente de orografia e com os elementos da categoria de terreno é possível determinar a turbulência à altura  $z$  a partir das expressões (14) e (15).

$$I_v(z) = \frac{1,0}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \text{ para } z_{min} \leq z \leq 200 \quad (14)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{min}) \text{ para } z \leq z_{min} \quad (15)$$

Com a turbulência e a velocidade média do vento apresentada anteriormente, determina-se finalmente a pressão dinâmica de pico  $q_p$  em função de uma altura  $z$ , a utilizar no cálculo das pressões:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_m^2(z) \quad (16)$$

em que:

$\rho$  – massa volúmica de ar.

O único parâmetro ainda por apresentar é a massa volúmica de ar  $\rho$ , que depende da altitude, da temperatura, e da pressão atmosférica previstas para a região em situação de vento intenso. Para efeitos de cálculo da pressão dinâmica de pico pode ser considerada  $1,25\text{kg/m}^3$ .

É possível considerar o efeito de construções vizinas na proximidade, determinando a pressão dinâmica de pico a uma altura  $z_n$ , que depende da geometria na vizinhança. No entanto os efeitos de construções vizinhas podem ser desprezados caso a construção em causa tenha menos que o dobro da altura da média das construções vizinhas.

### 3.3.3. Coeficientes de pressão ( $c_{pe}$ , $c_{pi}$ )

Os coeficientes de pressão exterior  $c_{pe}$  fornecidos pela norma, dependem das dimensões da superfície carregada. Os mesmos são fornecidos pela norma para superfícies carregada de  $1\text{m}^2$  e  $10\text{m}^2$  e em função da sua geometria, sendo representados por  $c_{pe,1}$  (coeficientes locais) e  $c_{pe,10}$  (coeficientes globais). O procedimento recomendado para a determinação dos coeficientes de pressão exterior para áreas entre 1 e  $10\text{m}^2$  é representado de acordo com a Figura 7:

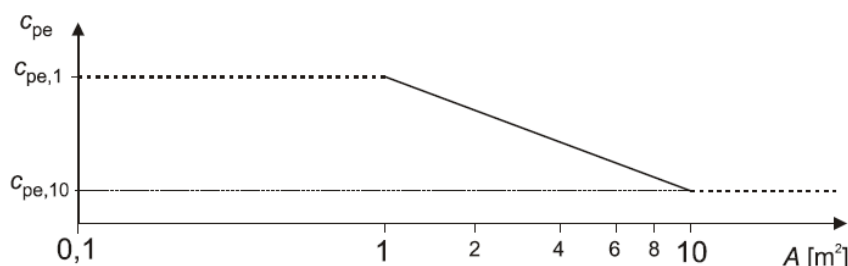


Figura 7. Procedimento recomendado para a determinação dos coeficientes de pressão exteriores para áreas entre 1 e 10m<sup>2</sup> [13].

Visto o procedimento recomendado apresentar uma variação linear podemos efectuar uma interpolação linear para determinar qual o coeficiente de pressão exterior de uma determinada área.

Os coeficientes de pressão interior  $c_{pi}$ , dependem da dimensão e da distribuição das aberturas na envolvente do edifícios. Uma face de um edifício é considerada predominante quando a área das aberturas nessa face é pelo menos o dobro da área das aberturas e de outras vias de passagem de ar nas faces restantes do edifício considerado. Nesta situação é necessário considerar qual a real razão entre as aberturas na face predominante e a área das aberturas nas restantes faces do seguinte modo:

- Para pelo menos o dobro da área das aberturas nas restantes face:  

$$c_{pi} = 0,75 \cdot c_{pe}$$
- Para pelo menos o triplo da área das aberturas nas restantes faces:  

$$c_{pi} = 0,90 \cdot c_{pe}$$

em que:

$c_{pe}$  – coeficiente de pressão exterior ao nível das aberturas na face predominante.

Visto serem consideradas várias orientações do vento, os coeficientes de pressão exterior na face predominante podem variar consoante essa orientação. Além disso dado existirem coeficientes de pressão exterior diferentes para as várias zonas das faces laterais, a norma prevê a utilização de um valor ponderado em área para a determinação deste coeficiente de pressão exterior.

Caso a área das aberturas na face predominante esteja compreendida entre o dobro e o triplo da área das aberturas nas restantes faces, pode ser efectuada uma interpolação linear.

Caso não exista uma face predominante ou desconheça a área das aberturas é possível considerar  $c_{pi}$  como o valor mais gravoso de +0,2 e -0,3.

### 3.3.4. Faces

Em paredes verticais de edifícios de planta rectangular as alturas de referência  $z_e$  para as faces que não se encontram a barlavento assumem um valor semelhante á altura do edifício, sendo a pressão dinâmica de pico semelhante para todas. Para a face a barlavento, no entanto há três possibilidades distintas que podem envolver várias alturas de referência a considerar:

- Altura do edifício inferior à largura  $b$ , da face a barlavento: é considerada uma única altura de referência, semelhante à altura do edifício.
- Altura do edifício superior à largura  $b$ , da face a barlavento mas inferior a  $2b$ : são consideradas duas alturas de referência, uma altura de referência semelhante à largura da face a barlavento, e outra, mais elevada semelhante à altura do edifício.
- Altura do edifício superior a duas vezes a largura  $b$ , da face a barlavento: são consideradas duas alturas de referência, uma altura de referência semelhante à largura da face a barlavento, e outra, mais elevada semelhante à altura do edifício. É considerada ainda uma zona intermédia onde a altura de referência varia linearmente.

A norma resume estas considerações de acordo com a Figura 8:

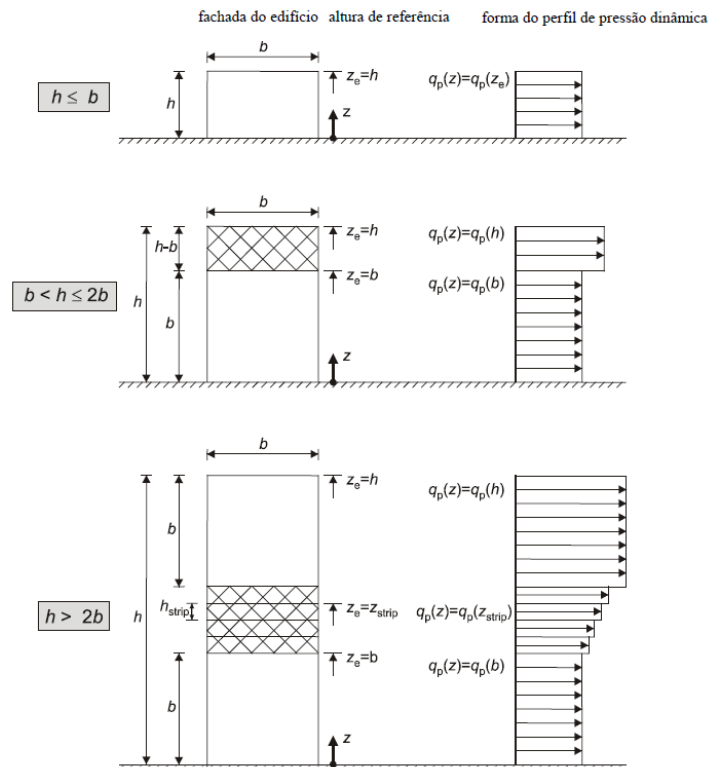


Figura 8. Altura de referência  $z_e$  em função da geometria do edifício [13].

Relativamente aos coeficientes de pressão exterior existem 5 tipos de zonas a considerar distribuídas pelas letras “A”, “B”, “C”, “D” e “E”. “D” corresponde à totalidade da face a barlavento, a zona “E” corresponde à totalidade da face a sotavento e “A”, “B” e “C” são zonas que distribuem os coeficientes de pressão nas faces laterais. Esta distribuição depende também da geometria do edifício, e apresenta três possibilidades:

- O menor valor “ $e$ ”, entre a largura  $b$  da face a barlavento e duas vezes a altura do edifício, é inferior à largura  $d$  das faces laterais: são consideradas as zonas “A”, “B” e “C”.
- O menor valor “ $e$ ”, entre a largura  $b$  da face a barlavento e duas vezes a altura do edifício, é igual ou superior à largura  $d$  das faces laterais: são consideradas as zonas “A” e “B”.
- O menor valor “ $e$ ”, entre a largura  $b$  da face a barlavento e duas vezes a altura do edifício, é igual ou superior a cinco vezes a largura  $d$  das faces laterais: é apenas considerada a zona “A”.

A norma resume estas considerações de acordo com as figura 9, 10, 11 e 12:

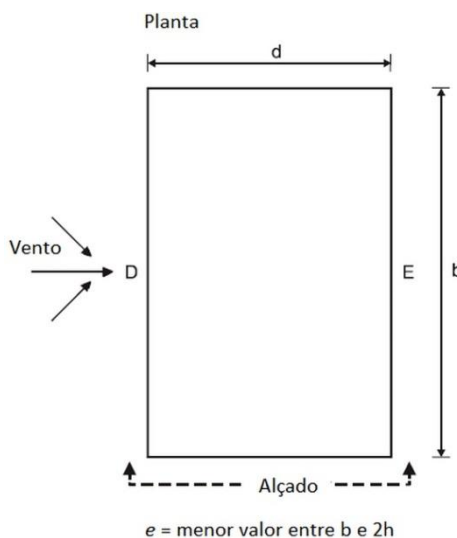
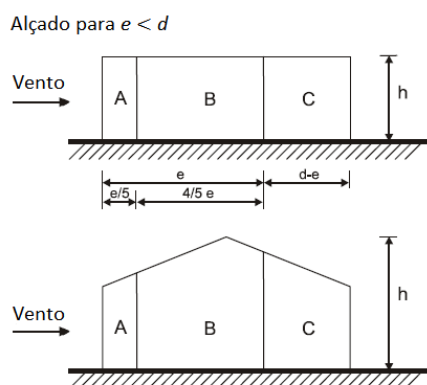
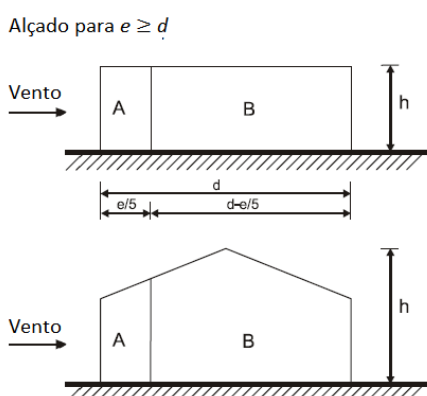
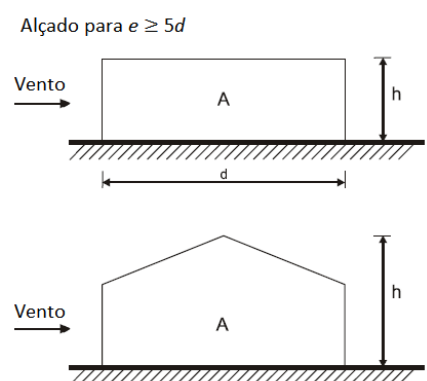


Figura 9. Referencial para determinação de zonas em faces laterais [13].

Figura 10. Zonas em alçados laterais para  $e < d$  [13].Figura 11. Zonas em alçados laterais para  $e \geq d$  [13].Figura 12. Zonas em alçados laterais para  $e \geq 5d$  [13].

Relativamente aos coeficientes de pressão exterior a considerar para cada uma das zonas, estes dependem da razão entre a altura  $h$ , do edifício e da largura das faces laterais  $d$ , sendo apresentada a Tabela 16. É permitido interpolar os valores fornecidos pela tabela caso a razão  $h/d$  forneça um valor intermédio relativamente aos apresentados.

Tabela 16. Valores recomendados dos coeficientes de pressão exterior para paredes verticais de edifícios em planta rectangular [13].

Zona	A		B		C		D		E	
$h/d$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

### 3.3.5. Coberturas

A altura de referência no cálculo da pressão dinâmica de pico de coberturas é sempre semelhante à altura do edifício, sendo portanto semelhante à pressão dinâmica de pico interior.

Relativamente aos coeficientes de pressão externa, estes envolvem a geometria da cobertura, bem como o sentido do vento considerado. Em todo o caso, é necessário dividir a cobertura em zonas e atribuir diferentes coeficientes de pressão às mesmas.

A norma apresenta geralmente um ou dois alçados, e duas plantas que definem as várias zonas para diferentes orientações do vento. É também possível a existência de vários casos distintos a considerar para a mesma cobertura e orientação do vento.

#### 3.3.5.1. Coberturas em terraço

Coberturas em terraço são as frequentemente denominadas coberturas planas, onde a inclinação é inferior a 5°. Para este tipo de cobertura é necessário ter em conta qual o tipo de bordo de modo a determinar os coeficientes de pressão.

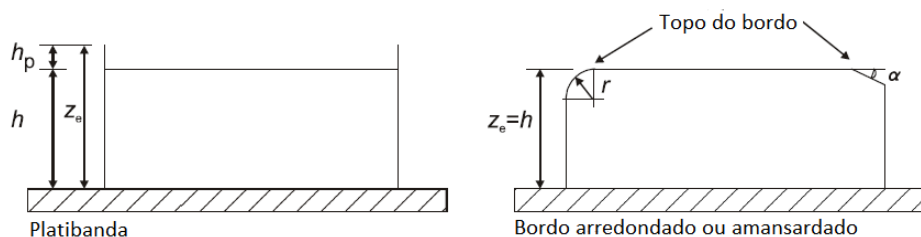


Figura 13. Cobertura em terraço (corte) [13].



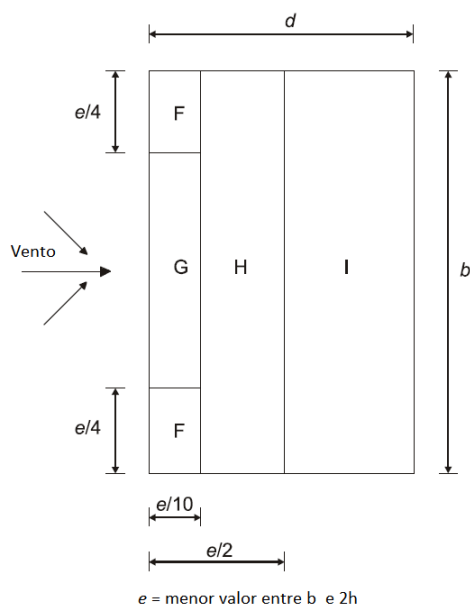


Figura 14. Zonas de cobertura em terraço (planta) [13].

Tabela 17. Coeficientes de pressão para coberturas em terraço (planas) [13].

Tipo de cobertura		Zona							
		F		G		H		I	
		$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
Bordos em aresta viva		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
Com platibanda	$h_p/h=0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$h_p/h=0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$h_p/h=0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
Bordos arredondados	$r/h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		+0,2	-0,2
	$r/h = 0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		+0,2	-0,2
	$r/h = 0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
Bordos amansardados	$\alpha = 30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		+0,2	-0,2
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		+0,2	-0,2
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2

NOTA 1: Para coberturas com platibandas ou com bordos arredondados, poderá ser efectuada uma interpolação linear para valores intermédios de  $h_p/h$  e de  $r/h$ .

NOTA 2: Para coberturas com bordos amansardados, poderá ser efectuada uma interpolação linear entre  $\alpha = 30^\circ$ ,  $\alpha = 45^\circ$  e  $\alpha = 60^\circ$ . Para  $\alpha > 60^\circ$ , poderá ser efectuada uma interpolação linear entre os valores para  $\alpha = 60^\circ$  e os valores para coberturas em terraço com bordos em aresta viva.

NOTA 3: Na Zona I, para a qual são fornecidos valores positivos e negativos, devem ser considerados ambos os valores.

NOTA 4: Para o bordo amansardado propriamente dito, os coeficientes de pressão exterior são fornecidos no Quadro 7.4a "Coeficientes de pressão exterior para coberturas de duas vertentes: direcção do vento 0", Zonas F e G, em função da inclinação do bordo.

NOTA 5: Para o bordo arredondado propriamente dito, os coeficientes de pressão exterior são calculados, ao longo do bordo, por interpolação linear entre os valores relativos à parede e à cobertura.

### 3.3.5.2. Coberturas de uma vertente

Nas coberturas de uma vertente há uma clara distinção entre os bordos que apresentam alturas distintas ( $0^\circ$  e  $180^\circ$ ), e os bordos de altura variável ( $90^\circ$ ). A principal variável a considerar é a

inclinação da vertente, e podem surgir dois casos distintos a considerar para a orientação  $0^\circ$  (quando a face do bordo inferior se situa a barlavento). Não é permitido considerar no mesmo caso zonas com valores de pressão positivos e zonas com valores negativos.

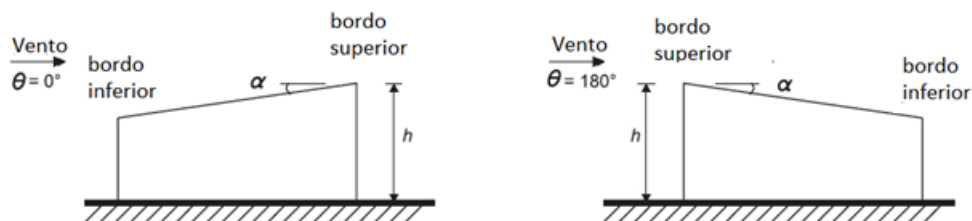


Figura 15. Cobertura de uma vertente (corte) [13].

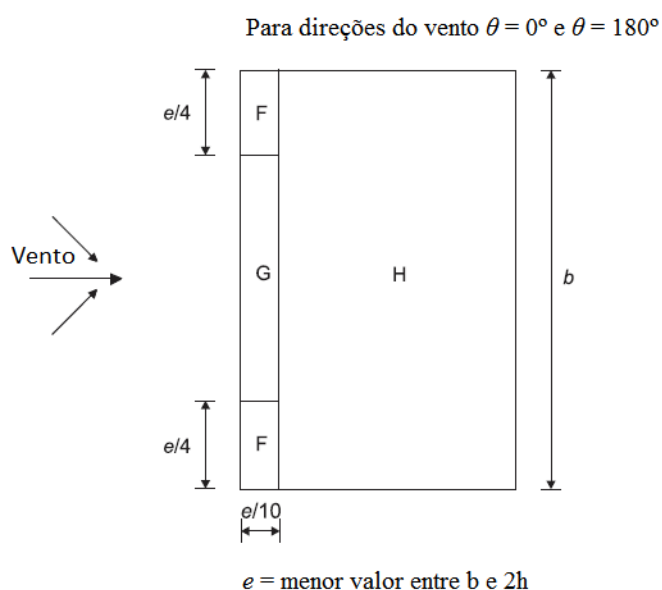


Figura 16. Zonas de cobertura de uma vertente para  $0^\circ$  e  $180^\circ$  (planta) [13].

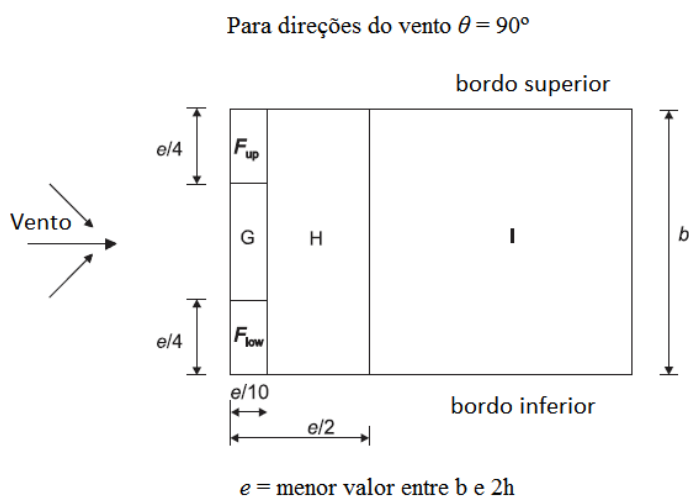


Figura 17. Zonas de cobertura de uma vertente para  $90^\circ$  (planta) [13].

Tabela 18. Coeficientes de pressão para coberturas de uma vertente no sentido 0° e 180° [13].

Ângulo de inclinação $\alpha$	Zona; Direcção do vento $\theta=0^{\circ}$						Zona; Direcção do vento $\theta=180^{\circ}$					
	F		G		H		F		G		H	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
	+0,0		+0,0		+0,0							
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2
	+0,2		+0,2		+0,2							
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-1,1	-2,3	-0,8	-1,5	-0,8	
	+0,7		+0,7		+0,4							
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,6	-1,3	-0,5		-0,7	
	+0,7		+0,7		+0,6							
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	

Tabela 19. Coeficientes de pressão para coberturas de uma vertente no sentido 90° [13].

Ângulo de inclinação $\alpha$	Zona; Direcção do vento $\theta = 90^\circ$									
	$F_{up}$		$F_{low}$		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-2,1	-2,6	-2,1	-2,4	-1,8	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
15°	-2,4	-2,9	-1,6	-2,4	-1,9	-2,5	-0,8	-1,2	-0,7	-1,2
30°	-2,1	-2,9	-1,3	-2,0	-1,5	-2,0	-1,0	-1,3	-0,8	-1,2
45°	-1,5	-2,4	-1,3	-2,0	-1,4	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
60°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,7	-1,2
75°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,5	

**NOTA 1:** Com  $\theta = 0^\circ$  (ver o Quadro a)), a pressão varia rapidamente entre valores positivos e negativos para inclinações entre  $\alpha = +5^\circ$  e  $\alpha = +45^\circ$ , razão pela qual são fornecidos valores positivos e negativos. Para estas coberturas deverão ser considerados dois casos: um com todos os valores positivos e um outro com todos os valores negativos. Não é permitida a mistura, numa mesma vertente, de valores positivos com valores negativos.

**NOTA 2:** Para ângulos intermédios de inclinação da vertente, poderá ser efectuada uma interpolação linear entre valores com o mesmo sinal. Os valores iguais a 0,0 são fornecidos para efeitos de interpolação.

### 3.3.5.3. Coberturas de duas vertentes

Nas coberturas de duas vertentes a norma considera a orientação 0° quando o vento actua perpendicularmente ao cume, e 90° quando actua paralelamente ao cume. A principal variável a considerar é também a inclinação da vertente, e apresentam-se quatro casos distintos a considerar para a orientação 0°. Não é permitido considerar no mesmo caso e para cada vertente zonas com valores de pressão positivos e zonas com valores negativos, no entanto para coberturas com 5°, ou interpolações que envolvam essa inclinação, a norma apresenta na

mesma vertente, nas zonas “I” e “J” valores com sinais diferentes, -0,6 e +0,2 respetivamente. O valor utilizado ao longo deste trabalho foi de +0,0 para “I” e +0,2 para “J”, visto na linha inferior se encontrarem os valores negativos -0,6 em ambas as zonas.

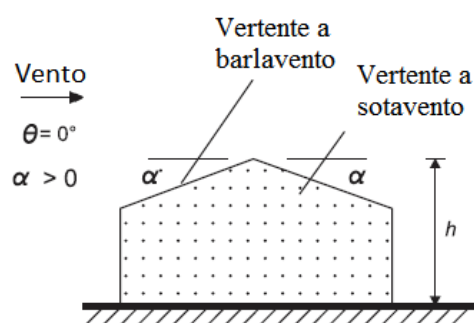


Figura 18. Coberturas de duas vertentes [13].

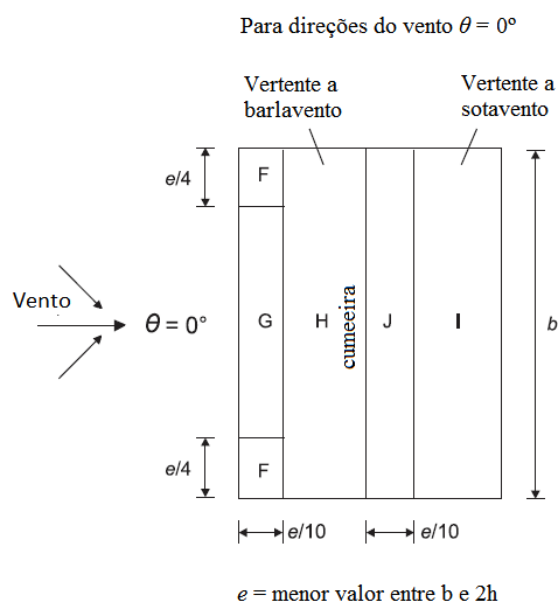


Figura 19. Zonas de cobertura de duas vertentes para  $0^\circ$  [13].

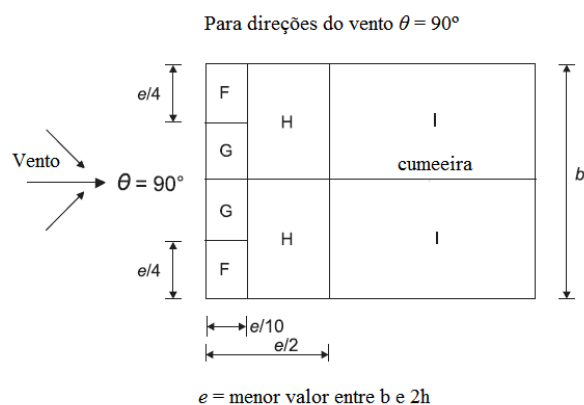


Figura 20. Zonas de cobertura de duas vertentes para  $90^\circ$  [13].

Tabela 20. Coeficientes de pressão para coberturas de duas vertentes no sentido 0° [13].

Ângulo de inclinação $\alpha$	Zona; Direcção do vento $\theta=0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

**NOTA 1 :** Com  $\theta = 0^\circ$  e para inclinações entre  $\alpha = -5^\circ$  e  $\alpha = +45^\circ$ , a pressão varia rapidamente entre valores positivos e negativos na vertente virada a barlavento, razão pela qual são fornecidos valores positivos e negativos. Para estas coberturas deverão ser considerados quatro casos, em que os valores maiores ou menores em todas as áreas F, G e H são combinados com os valores maiores ou menores nas áreas I e J. Não é permitida a mistura, numa mesma vertente, de valores positivos com valores negativos.

**NOTA 2:** Para ângulos de inclinação intermédios entre ângulos com o mesmo sinal, poderá ser efectuada uma interpolação linear entre valores com o mesmo sinal. (Não efectuar interpolação entre  $\alpha = +5^\circ$  e  $\alpha = -5^\circ$ , mas antes utilizar os valores relativos às coberturas em terraço indicados em 7.2.3). Os valores iguais a 0,0 são fornecidos para efeitos de interpolação.

Tabela 21. Coeficientes de pressão para coberturas de duas vertentes no sentido 90° [13].

Ângulo de inclinação $\alpha$	Zona; Direcção do vento $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

### 3.3.5.4. Coberturas de quatro vertentes

Nas coberturas de duas a norma considera a orientação  $0^\circ$  quando o vento actua perpendicularmente ao cume, e  $90^\circ$  quando actua paralelamente ao cume. A principal variável a considerar é também a inclinação da vertente, e surgem sempre dois casos distintos a considerar para qualquer sentido. Não é permitido considerar no mesmo caso zonas com valores positivos e zonas com valores negativos. Contudo a norma apenas apresenta valores negativos para todas as vertentes que não se encontram a barlavento. Além disso, para inclinações superiores a  $45^\circ$ , a norma apenas apresenta valores positivos na vertente a barlavento. Por esta razão entende-se que a proibição de mistura de valores positivos com negativos não se refere a toda a cobertura, mas apenas à vertente a barlavento, caso contrário, não seria possível considerar dois casos, nem seria possível considerar qualquer caso para inclinações superiores a  $45^\circ$  devido à mistura de sinais entre a vertente a barlavento e as restantes.

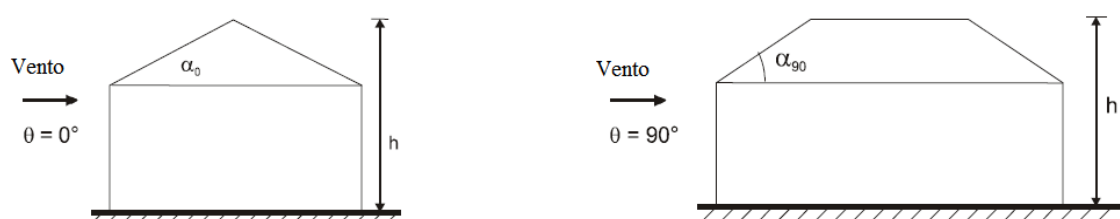


Figura 21. Coberturas de quatro vertentes [13].

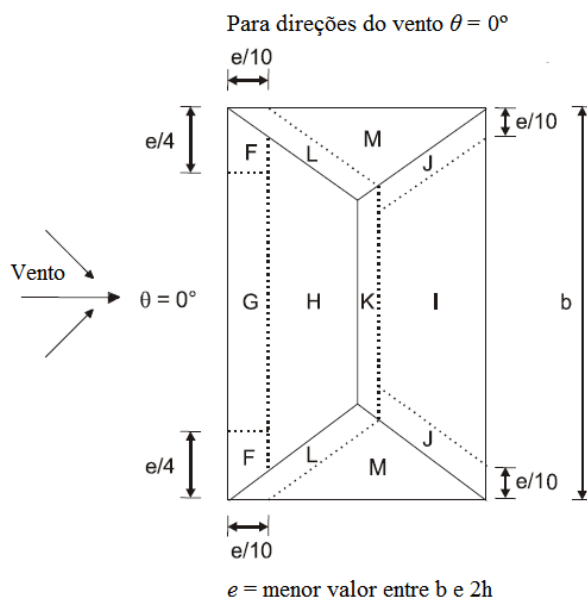


Figura 22. Zonas de cobertura de quatro vertentes para  $0^\circ$  [13].

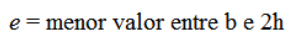


Figura 23. Zonas de cobertura de quatro vertentes para  $90^\circ$  [13].

Tabela 22. Coeficientes de pressão para coberturas de quatro vertentes [13].

Ângulo de inclinação	Zona; Direcção do vento $\theta = 0^\circ$ e $\theta = 90^\circ$																			
	$\alpha_0$ para $\theta = 0^\circ$		F		G		H		I		J		K		L		M		N	
	$\alpha_0$ para $\theta = 90^\circ$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	
5°		-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3		-0,6		-0,6		-1,2	-2,0	-0,6	-1,2		-0,4	
		+0,0		+0,0		+0,0														
15°		-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,5	-1,0	-1,5	-1,2	-2,0	-1,4	-2,0	-0,6	-1,2		-0,3		
		+0,2		+0,2		+0,2														
30°		-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4	-0,7	-1,2		-0,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2		-0,2		
		+0,5		+0,7		+0,4														
45°		-0,0		-0,0		-0,0		-0,3	-0,6		-0,3	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2		-0,2			
		+0,7		+0,7		+0,6														
60°		+0,7		+0,7		+0,7		-0,3		-0,6		-0,3		-1,2		-2,0		-0,4		-0,2
75°		+0,8		+0,8		+0,8		-0,3		-0,6		-0,3		-1,2		-2,0		-0,4		-0,2

**NOTA 1:** Com  $\theta = 0^\circ$  e para inclinações entre  $\alpha = +5^\circ$  e  $\alpha = +45^\circ$ , a pressão varia rapidamente entre valores positivos e negativos na vertente virada a barlavento, razão pela qual são fornecidos valores positivos e negativos. Para estas coberturas deverão ser considerados dois casos: um com todos os valores positivos e um outro com todos os valores negativos. Não é permitida a mistura de valores positivos com valores negativos.

**NOTA 2:** Para ângulos intermédios de inclinação da vertente, poderá ser efectuada uma interpolação linear entre valores com o mesmo sinal. Os valores iguais a 0,0 são fornecidos para efeitos de interpolação.

**NOTA 3:** Os valores dos coeficientes de pressão são sempre regidos pela inclinação da vertente virada a barlavento.

### 3.4. Neve

As ações provocadas pela neve regem-se pela norma NP EN 1991-1-3, a qual fornece orientações relativamente à sua determinação. As ações da neve são classificadas como ações estáticas e em situação persistente ou transitória devem ser tratadas como variáveis fixas. Em situação acidental devem ser tratadas como ações de acidente.

No âmbito deste trabalho as ações da neve consideradas correspondem á situação persistente/transitória. A situação accidental, embora referida neste documento para clarificar algumas opções tomadas, não faz neste momento parte do programa de cálculo.

As cargas da neve resultam da acumulação de depósitos na cobertura que devem ser consideradas como actuando verticalmente, sendo referidas à projeção horizontal da área das coberturas em causa. A norma apenas se refere à deposição natural de neve, sendo necessário especificar a disposição de carga para cada caso concreto caso se preveja alguma remoção ou redistribuição artificial da neve. Além disso a norma não considera cargas de impacto resultantes do deslizamento ou da queda de neve de coberturas mais elevadas, nem ações do vento adicionais resultantes de alterações na forma ou dimensão das construções devidas à presença de neve.

### 3.4.1. Elementos teóricos e normativos

A variável básica principal para a quantificação da ação da neve designa-se por carga da neve ao nível do solo  $S_k$ , que por sua vez depende da altitude em causa e da localização da estrutura em território nacional. A expressão que determina o seu valor expresso em  $\text{kN/m}^2$  é a seguinte:

$$s_k = C_z \left[ 1 + \left( \frac{H}{500} \right)^2 \right] \quad (17)$$

em que:

$C_z$  – coeficiente dependente da localização.

$H$  – altitude do local (m).

Em relação à localização o território nacional divide-se de acordo com a Figura 24. O coeficiente de zona assume os valores de 0,3 para zona  $Z_1$ , 0,2 para zona  $Z_2$  e 0,1 na zona  $Z_3$ . O zonamento define também quais as situações de projeto a ter em conta, e quais os casos a ter em conta em situação de projeto accidental.

Para todo o território nacional é necessário considerar a situação de projeto persistente/transitória, sendo que apenas na zona  $Z_1$  é necessário considerar a situação de projeto accidental.



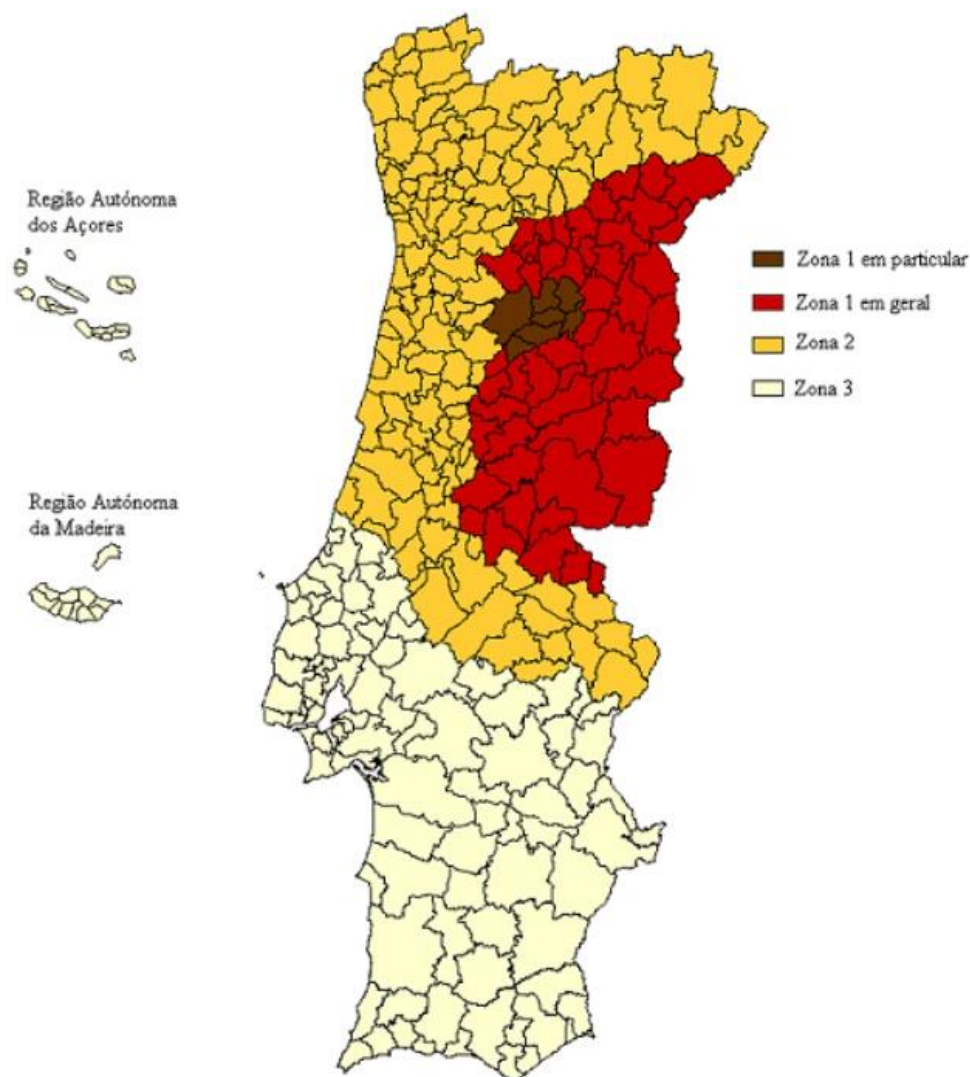


Figura 24. Zonamento do território nacional para a ação da neve [12].

A situação de projeto persistente/transitória apresenta duas disposições de carga distintas a considerar:

- Carga de neve não deslocada - disposição de carga correspondente à carga da neve uniformemente distribuída na cobertura e que resulta apenas da forma desta antes de qualquer redistribuição da neve devida a outras ações climáticas.
- Carga de neve deslocada - disposição de carga correspondente à distribuição da carga da neve após ter dar-se uma deslocação desta de um local para outro da cobertura devido, por exemplo, à ação do vento.

A situação de projeto accidental por sua vez pode ter em conta uma queda de neve excepcional (da qual resulta neve não deslocada e neve deslocada), ou um deslocamento de neve

excepcional, ou ainda ambas as situações excepcionais a analisar independentemente uma da outra.

O zonamento de território, as situações de projeto e as disposições de carga a ter em conta são resumidos na Tabela 23:

Tabela 23. Situações de projeto e disposições de carga a considerar [12].

Condição normal	Condições excepcionais		
Caso A	Caso B1	Caso B2	Caso B3
sem neve como ação de acidente ( ver 3.2(1) )	queda excepcional como ação de acidente ( ver 3.3(1) )	deslocamento excepcional como ação de acidente ( ver 3.3(2) )	ou queda excepcional ou deslocamento excepcional como ação de acidente ( ver 3.3(3) )
a) Situações de projecto persistentes/transitórias	a) Situações de projecto persistentes/transitórias	a) Situações de projecto persistentes/transitórias	a) Situações de projecto persistentes/transitórias
[1] não deslocada $s = \mu_i C_e C_t s_k$	[1] não deslocada $s = \mu_i C_e C_t s_k$	[1] não deslocada $s = \mu_i C_e C_t s_k$	[1] não deslocada $s = \mu_i C_e C_t s_k$
[2] deslocada $s = \mu_i C_e C_t s_k$	[2] deslocada $s = \mu_i C_e C_t s_k$	[2] deslocada $s = \mu_i C_e C_t s_k$	[2] deslocada $s = \mu_i C_e C_t s_k$
coef. $\mu_i$ de acordo com: - secção 5.3 (ef. globais) - secção 6 (ef. locais)	coef. $\mu_i$ de acordo com: - secção 5.3 (ef. globais) - secção 6 (ef. locais)	coef. $\mu_i$ de acordo com: - secção 5.3 (ef. globais) - secção 6 (ef. locais)	coef. $\mu_i$ de acordo com: - secção 5.3 (ef. globais) - secção 6 (ef. locais)
	b) Situações de projecto acidentais	b) Situações de projecto acidentais	b) Situações de projecto acidentais
	[3] não deslocada $s = \mu_i C_e C_t C_{esl} s_k$	[5] $s = \mu_i s_k$	[3] não deslocada $s = \mu_i C_e C_t C_{esl} s_k$
	[4] deslocada $s = \mu_i C_e C_t C_{esl} s_k$	coef. $\mu_i$ de acordo com o Anexo B	[4] deslocada $s = \mu_i C_e C_t C_{esl} s_k$
	coef. $\mu_i$ de acordo com: - secção 5.3 (ef. globais) - secção 6 (ef. locais)		coef. $\mu_i$ de acordo com: - secção 5.3 (ef. globais) - secção 6 (ef. locais)
			[5] $s = \mu_i s_k$ coef. $\mu_i$ de acordo com o Anexo B
<p><b>NOTA 1:</b> O caso A aplica-se aos locais situados nas zonas <math>Z_2</math> e <math>Z_3</math>, definidas em NA-4.1(1). O caso B3, equivalente à aplicação simultânea dos casos B1 e B2, aplica-se aos concelhos de Aguiar da Beira e de Fornos de Algodres do distrito da Guarda e aos concelhos de Mangualde, Nelas, Penaíva do Castelo, Sátão e Viseu do distrito de Viseu da zona <math>Z_1</math> definida em NA-4.1(1). O caso B2 aplica-se aos restantes concelhos da zona <math>Z_1</math>.</p> <p><b>NOTA 2:</b> As verificações dos efeitos locais referidos na secção 6 são feitas nas situações de projecto persistentes/transitórias (ver 3.1(2) e 6.1(2)) e nas situações de projecto acidentais em que a ação de acidente seja a queda de neve excepcional (casos B1 e B3).</p>			

Esta tabela encontra-se no anexo nacional e uniformiza quais as disposições de carga a ter em conta, em que situações de projeto, em que zonas do território nacional e inclui as expressões de cálculo da ação da neve.

Relativamente à zona  $Z_1$  embora o coeficiente de zona seja o mesmo para todas as situações, alguns concelhos exigem a consideração cargas excepcionais de um modo distinto da situação geral, motivo pelo qual se justifica a distinção entre a zona  $Z_1$  em particular e a zona  $Z_1$  em geral. Os concelhos da zona  $Z_1$  em particular remetem para o caso B3, que inclui a possibilidade de, em situação de projeto accidental, surgir queda excepcional, ou deslocamento excepcional, sendo necessário distinguir ambas as situações separadamente. Os restantes concelhos da zona  $Z_1$ , ou seja, a zona  $Z_1$  em geral, remetem para o caso B2, onde apenas é necessário, em situação de projeto accidental, considerar o deslocamento excepcional.

No que toca às expressões de cálculo, na situação persistente/transitória a expressão apresentada é similar em todos os casos:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (18)$$

em que:

$s_k$  - valor característico da carga da neve ao nível do solo.

$C_e$  - coeficiente de exposição.

$C_t$  - coeficiente térmico.

$\mu_i$  - coeficiente de forma para a carga da neve.

O coeficiente de exposição  $C_e$ , depende das condições locais de exposição ao vento. O seu valor varia entre 0,8 e 1,2, sendo unitário para condições de topografia normais. Por sua vez os valores de 0,8 e 1,2 correspondem a situações de significativa exposição ao vento, e situações particularmente abrigadas do vento, respetivamente. O abrigo pode ser conferido por árvores altas e/ou outras construções mais altas na proximidade.

Tabela 24. Valores recomendados de  $C_e$  para diferentes topografias [12].

Topografia	$C_e$
Exposta ao vento <sup>a)</sup>	0,8
Normal <sup>b)</sup>	1,0
Abrigada <sup>c)</sup>	1,2
<p>a) Topografia exposta ao vento: zonas planas, sem obstáculos e expostas de todos os lados, sem ou com pouco abrigo conferido pelo terreno, por construções mais altas ou por árvores.</p> <p>b) Topografia normal: zonas nas quais não há uma remoção significativa da neve pelo vento, devido à configuração do terreno, à existência de outras construções ou de árvores.</p> <p>c) Topografia abrigada: zonas tais que a construção em causa fica a um nível consideravelmente mais baixo que o do terreno circundante ou que está rodeada por árvores altas e/ou por outras construções mais altas.</p>	

Relativamente ao coeficiente térmico  $C_t$ , este assume geralmente um valor unitário. A sua utilização destina-se a ter em conta a redução das cargas da neve em coberturas com elevada transmissão térmica, como por exemplo em certas coberturas envidraçadas que podem favorecer a fusão da neve.

O coeficiente de forma  $\mu_i$  depende da geometria da cobertura e da disposição de carga, sendo tratado nos efeitos globais e efeitos locais. No documento original da norma, todos estes efeitos fazem parte do estudo da situação de projeto persistente/transitória e da queda excepcional da situação de projeto accidental. Apenas o deslocamento excepcional da situação de projeto accidental tem um tratamento específico, sendo realizado no anexo B. O anexo nacional no entanto, remete dois dos efeitos para o anexo B, a proximidade de construções mais altas, e a presença de obstáculos. Este tema será abordado com mais detalhe posteriormente, no estudo dos efeitos locais.

### 3.4.2. Efeitos Globais

A determinação dos efeitos globais resume-se à determinação dos coeficientes de forma em função do tipo de cobertura. Em coberturas ordinárias o coeficiente de forma depende unicamente do ângulo de inclinação da vertente, tal como indica a Tabela 25:

Tabela 25. Coeficientes de forma para a carga da neve [12].

Ângulo de inclinação da vertente $\alpha$	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
$\mu_2$	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	--

Em que  $\alpha$  é o ângulo que a vertente faz com a horizontal.

A norma apresenta também um gráfico que permite interpretar de que modo é que o coeficiente de forma varia em função de  $\alpha$ .

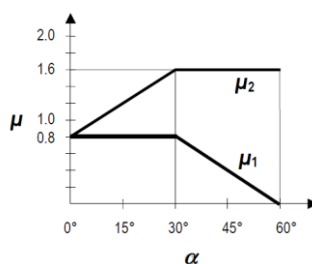


Figura 25. Coeficientes de forma em função da inclinação [12].

Para coberturas de uma única vertente a norma apresenta a seguinte distribuição de carga (Figura 26) a usar para a disposição de neve não deslocada e neve deslocada:

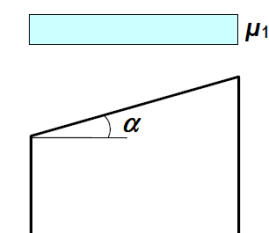


Figura 26. Coeficiente de forma para a carga da neve de vertente única [12].

Para coberturas de duas vertentes a norma apresenta as seguintes distribuições (Figura 27):

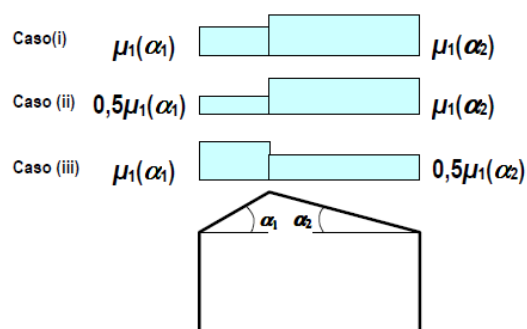


Figura 27. Coeficientes de formas para a carga de neve de duas vertentes [12].

Em que o “*Caso (i)*” representa a disposição de neve não deslocada, e os restantes casos representam casos de neve deslocada.

Um outro tipo de coberturas apresentado é o de coberturas múltiplas de duas vertentes, apresentado na Figura 28.

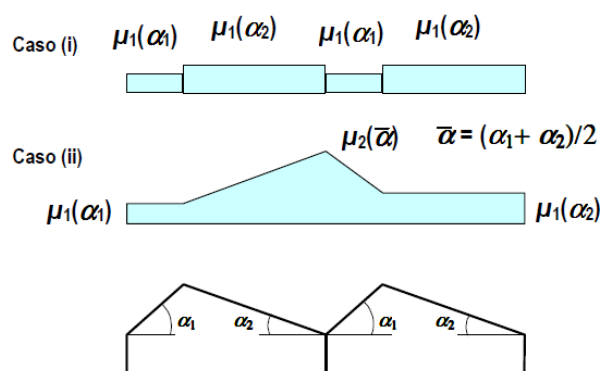


Figura 28. Coeficientes de forma para a carga da neve em coberturas múltiplas de duas vertentes [12].

Neste tipo de cobertura apresenta-se um “*Caso (i)*” para disposição de neve não deslocada, e um “*Caso (ii)*” para disposição de neve deslocada.

Os valores indicados do coeficiente de forma indicados na tabela só podem ser utilizados caso as coberturas não possuam qualquer tipo de impedimento. Na existência de qualquer tipo de obstáculo, platibanda, ou guarda-neves o coeficiente de forma não deverá ser inferior a 0,8.

### 3.4.3. Efeitos Locais

Os efeitos locais envolvem o estudo de obstáculos, alpendres, platibandas, proximidade de construções mais altas, entre outros. Para cada um destes elementos, é necessário também determinar coeficientes de forma, que dependem da geometria dos elementos em causa.

Relativamente à presença de obstáculos e platibandas são apresentadas duas situações distintas, a de cobertura plana e a de cobertura inclinada. Para cada uma dessas situações, e também da proximidade de construções mais altas, o anexo nacional remete o seu estudo para o anexo B que trata especificamente de deslocamentos de neve excepcionais. Estamos portanto na presença de disposições de carga de neve deslocada.

#### 3.4.3.1. Obstáculos, platibandas e alpendres

A norma, apresenta as Figuras 29, 30 e 31 para clarificar a presença de obstáculos, e também neste caso alpendres, em coberturas:

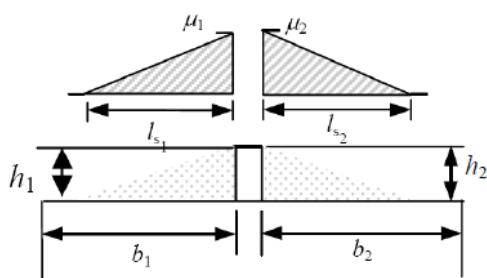


Figura 29. Obstáculo em cobertura plana [12].

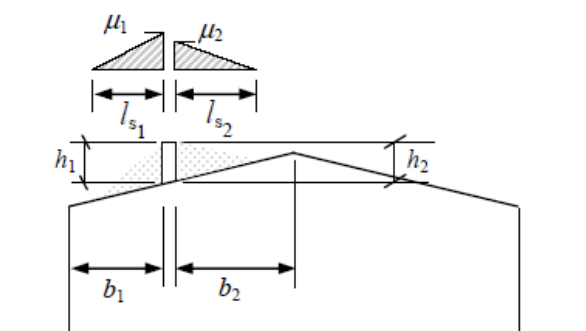


Figura 30. Obstáculo em cobertura inclinada [12].

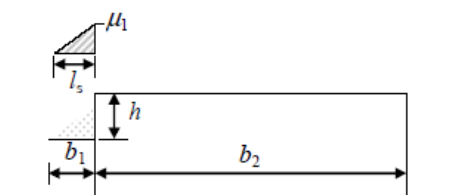


Figura 31. Alpendre [12].

Para estes elementos estipula-se que o coeficiente de forma é dado por:

$$\mu_i = 2 \cdot h_i / s_k \leq 5 \quad (19)$$

em que:

$h_i$  – altura do obstáculo.

$s_k$  – carga da neve ao nível do solo.

Além disso, para os alpendres com um vão inferior ou igual a 5 metros o coeficiente de forma não deve exceder  $2b/l_{s1}$  onde  $b$  é o maior dos valores entre  $b_1$  e  $b_2$ .

Para estes elementos a extensão do deslocamento de neve  $l_{si}$  é definida pelo menor dos valores de  $5h$  ou  $b_i$ , em que  $i$  é 1 ou 2 de modo a considerar as duas faces dos obstáculos, e em que  $h$  é inferior ou igual a 1.

Por outro lado, as platibandas apresentam as Figuras 32, 33 e 34:

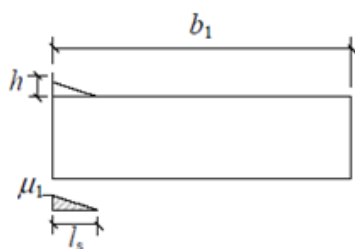


Figura 32. Neve atrás de uma platibanda em cobertura plana [12].

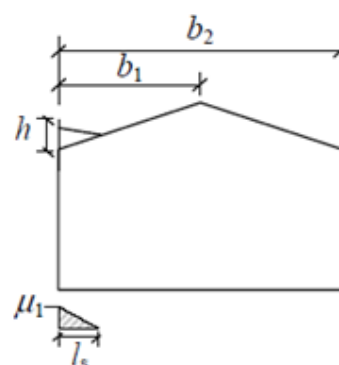


Figura 33. Platibanda em cobertura inclinada [12].

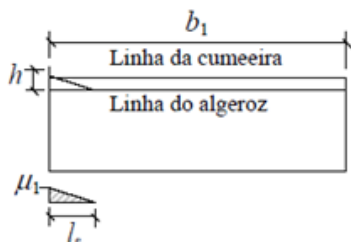


Figura 34. Neve em revessa, atrás de uma platibanda na extremidade de uma empena [12].

Onde o coeficiente de forma  $\mu_1$ , é dado pelo menor dos valores:

$$\mu_1 = 2 \cdot \frac{h}{s_k} \quad (20)$$

$$\mu_1 = 2 \cdot \frac{b}{l_s} \quad (21)$$

$$\mu_1 = 8 \quad (22)$$

em que:

$h$  – altura do obstáculo.

$s_k$  – carga da neve ao nível do solo.

$b$  – maior dos valores de  $b_1$  e  $b_2$ .

$l_s$  – extensão de neve deslocada.

Ainda para o deslocamento de neve em platibandas, a extensão de neve deslocada  $l_s$ , é definida pelo menor dos valores de  $5h$  ou  $b_1$ , ou 15 metros.

### 3.4.3.2. Proximidade de construções mais altas

A proximidade de construções mais altas é no documento original tratada como um efeito global, contudo, o anexo nacional remete o seu estudo também para o anexo B. A figura e a tabela presentes no anexo B referem-se a uma cobertura em contacto com uma construção mais alta.

As construções próximas de outras construção mais altas mas não em contacto podem ser estudadas de acordo com a mesma figura e tabela, mas nesse caso já não é necessário considerar a carga de neve depositada entre os dois edifícios, bastando considerar a carga que se encontra na própria cobertura. Como regra geral só é necessário considerar o efeito de construções próximas sem contacto se estas se encontrarem a menos de 1,5 metros.



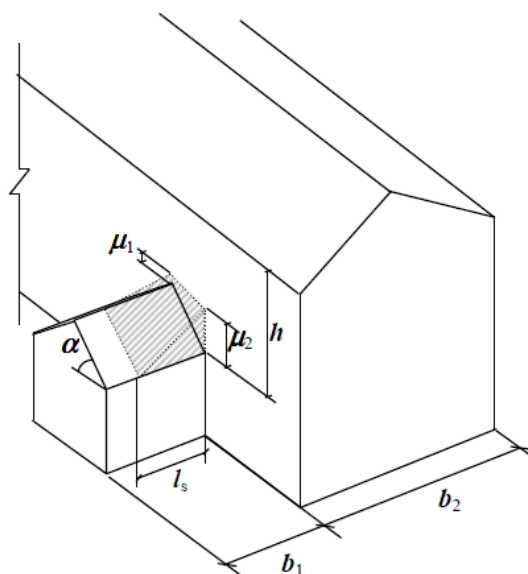


Figura 35. Coeficientes de forma e extensões para disposições de neve deslocada em coberturas próximas ou em contacto com construções mais altas [12].

Tabela 26. Coeficientes de forma e extensões para disposições de neve deslocada em coberturas próximas ou em contacto com construções mais altas [12].

Coeficiente de forma	Ângulo de inclinação da vertente $\alpha_1$			
	$0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$	$15^\circ < \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$60^\circ \leq \alpha$
$\mu_1$	$\mu_3$	$\mu_3 \{ [30 - \alpha] / 15 \}$	0	0
$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_3$	$\mu_3 \{ [60 - \alpha] / 30 \}$	0
<b>NOTA:</b> $\mu_3$ é o menor dos valores $2h/s_k$ , $2b/l_s$ ou 8, em que $b$ é o maior dos valores $b_1$ ou $b_2$ , e $l_s$ é o menor dos valores $5h$ , $b_1$ ou 15 m.				

A extensão de neve deslocada  $l_s$ , é definida pelo menor dos valores de  $5h$  ou  $b_1$ , ou 15 metros.

### 3.4.3.3. Guarda-neves e neve saliente

Outros efeitos locais que não foram considerados nas combinações são o de carga em guarda-neves e o de neve saliente. Em relação à carga em guarda-neves a mesma é dada por:

$$F_s = s \cdot b \cdot \text{sen}(\alpha) \quad (23)$$

em que:

$F_s$  – força exercida por uma massa deslizando de neve, na direção do deslizamento por unidade de comprimento do edifício.

$s$  – carga da neve na cobertura, da combinação de ações mais desfavorável de neve não deslocada, relativa à zona da cobertura da qual a neve pode deslizar.

$b$  – distância, na horizontal entre o guarda-neve ou outro obstáculo e o guarda-neve seguinte ou a cumeeira.

$\alpha$  – inclinação da vertente em relação à horizontal.

Relativamente à carga de neve saliente, esta deve ser considerada para altitudes superiores a 800 metros e é representada na Figura 36:

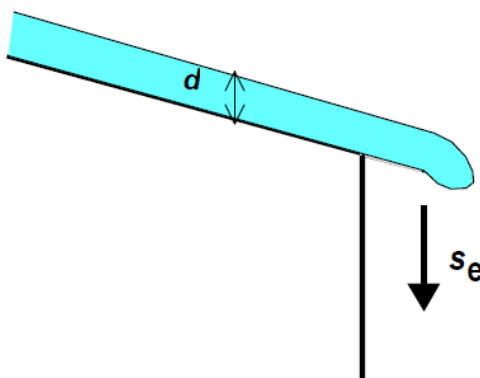


Figura 36. Carga de neve saliente [12].

Sendo o valor de  $S_e$  dado por:

$$S_e = k \cdot \frac{s^2}{\gamma} \quad (24)$$

em que:

$S_e$  – carga da neve saliente por metro de comprimento.

$s$  – caso de carga da neve não deslocada mais condicionante para a cobertura considerada.

$\gamma$  – peso volúmico da neve (considerado igual a  $3\text{kN/m}^3$  para efeitos de cálculo).

$k$  – coeficiente que toma em conta a forma irregular da neve.

Para o valor de  $k$  é definido que o mesmo deve ser igual a  $\frac{3}{d}$ , com o máximo de  $d\gamma$ , onde  $d$  é a espessura, em metros, da camada de neve na cobertura.

### 3.5. Térmica

As ações térmicas regem-se pela norma NP EN 1991-1-5, a qual fornece regras para a determinação dos seus valores característicos bem como outras considerações acerca das mesmas. As ações térmicas são classificadas como ações variáveis e indiretas.

No âmbito deste trabalho, pretendeu-se determinar a variação uniforme de temperatura em condições de Verão e condições de Inverno (variação sazonal), não tendo sido considerada a temperatura do ar à sombra, nem a variação de temperatura em elementos especiais como chaminés ou torres de arrefecimento. Assumiu-se também que os elementos estruturais são constituídos por uma única camada.

As ações térmicas em estruturas são o resultado de variações, num determinado período de tempo, da temperatura instalada nos elementos que constituem a estrutura. Tais variações podem ter origens diversas como variações climáticas (diárias e sazonais), condições de exploração da própria estrutura, como o caso de chaminés ou torres de arrefecimento.

#### 3.5.1. Elementos teóricos e normativos

O estudo das temperaturas é realizado através da distribuição de temperatura ao longo do perfil transversal do elemento. Podemos decompor essa mesma distribuição em três componentes essenciais:

- Componente de variação uniforme de temperatura  $\Delta T_u$ ;
- Componentes lineares da variação diferencial de temperatura  $\Delta T_{My}$  e  $\Delta T_{Mz}$ , (sendo y e z os eixos de referência no plano da secção transversal);
- Componente não linear da variação diferencial de temperatura  $\Delta T_E$ .

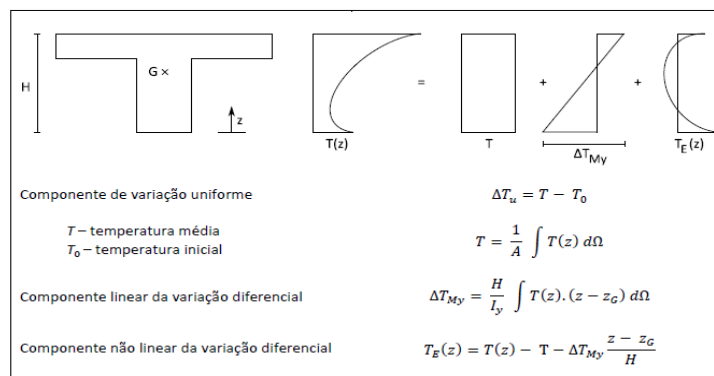


Figura 37. Componentes da distribuição de temperatura na secção transversal de um elemento [5].

A importância destas componentes varia conforme o tipo de estrutura, sendo no caso de edifícios os principais efeitos das ações térmicas originados pela componente da variação uniforme  $\Delta T_u$ . O valor desta componente é dado por:

$$\Delta T_u = T - T_0 \quad (25)$$

em que:

$T$  – Temperatura média de um elemento estrutural resultante das temperaturas climáticas no Inverno ou no Verão, e das temperaturas operacionais.

$T_0$  – Temperatura inicial de um elemento estrutural no momento em que são introduzidos constrangimentos.

### 3.5.2. Determinação da variação de temperatura uniforme

Relativamente a  $T_0$  entende-se que o valor da temperatura média de uma estrutura é muito semelhante ao valor da temperatura média do ar no local da obra, pelo que na falta de outros dados é possível adoptar para  $T_0$  o valor da temperatura média do ar. Caso não seja possível prever a temperatura média no instante em que são introduzidos constrangimentos, ou determinar a temperatura média durante o período de construção pode considerar-se  $T_0 = 15^\circ\text{C}$ .

Relativamente a  $T$  quando se tratam de elementos periféricos com uma única camada e sendo as condições ambientais em ambos os lados semelhantes, este é aproximadamente a média das temperaturas do ambiente interior e exterior, ou seja;

$$T = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \quad (26)$$

em que:

$T_{in}$  – Temperatura média do ambiente interior.

$T_{out}$  – Temperatura média do ambiente exterior.

Os valores de  $T_{in}$  e  $T_{out}$  dependem, por sua vez de várias características como por exemplo a zona onde se encontra o edifício, as condições sazonais, a absorvidade relativa do elemento e até se a zona em estudo do edifício se encontra enterrada ou acima do solo. Serão analisadas as formas de determinar estes valores.

Por um lado,  $T_{in}$  depende unicamente do período sazonal em que nos encontramos, de acordo com a Tabela 27:

Tabela 27. Temperaturas indicativas para  $T_{in}$  [11].

Estação	Temperatura $T_{in}$
Verão	$T_1 = 25^{\circ}\text{C}$
Inverno	$T_2 = 18^{\circ}\text{C}$

Por outro lado a determinação de  $T_{out}$  exige a determinação de  $T_{max}$  e  $T_{min}$ , cujos valores dependem da localização do edifício de acordo com a Figura 38.

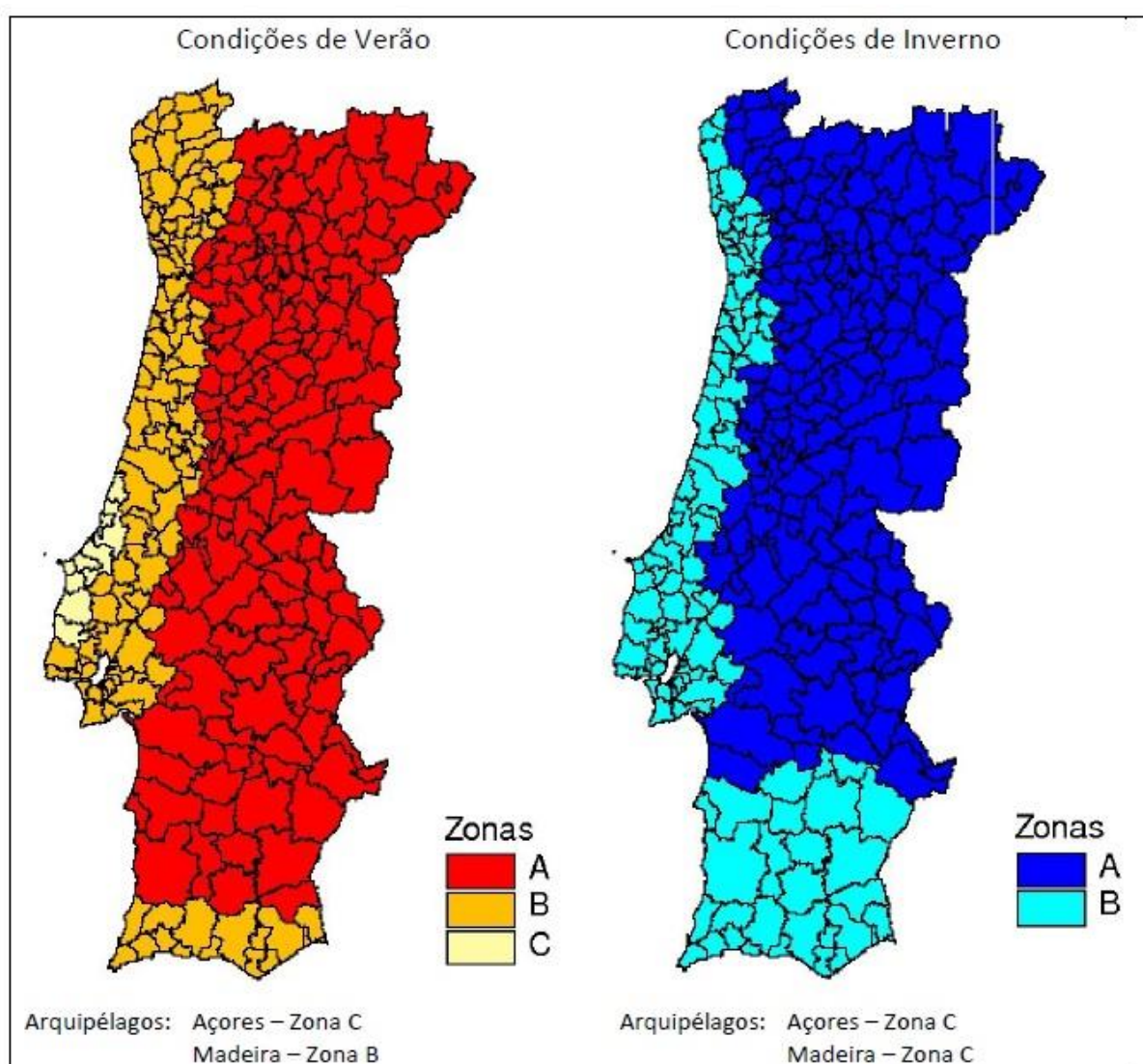


Figura 38. Zonamento térmico [5].

De acordo com a norma os valores de  $T_{max}$  e  $T_{min}$  para as condições de Verão e Inverno são dados pelas Tabelas 28 e 29:

Tabela 28. Valores de  $T_{max}$  [5].

Condições de Verão			
Zona	A	B	C
$T_{max}$	45°C	40°C	35°C

Tabela 29. Valores de  $T_{min}$  [5].

Condições de Inverno			
Zona	A	B	C
$T_{min}$	-5°C	0°C	5°C

De acordo com o anexo nacional da norma é ainda necessário para as condições de Verão subtrair 1,0°C por cada 100 metros de altitude, e nas condições de Inverno subtrair 0,5°C também por cada 100 metros de altitude.

Com esta informação podemos agora determinar qual o valor de  $T_{out}$  para zonas acima do solo em função da Tabela 30.

Tabela 30. Temperaturas indicativas de  $T_{out}$  em zonas acima do solo [11].

Estação	Factor significativo		Temperatura $T_{out}$ em °C
Verão	Absorvidade relativa dependente da cor da superfície	0,5 superfície clara brilhante	$T_{max} + T_3$
		0,7 superfície de cor clara	$T_{max} + T_4$
		0,9 superfície escura	$T_{max} + T_5$
Inverno			$T_{min}$

Devem utilizar-se os seguintes valores:

$$T_3 = 0 \text{ °C}; T_4 = 2 \text{ °C}; T_5 = 5 \text{ °C}$$

Os valores de  $T_{out}$  assim obtidos, são válidos para superfícies horizontais ou viradas a Oeste. Para ter em conta outras orientações da superfície, o valor  $T_{out}$  pode ser multiplicado pelo coeficiente  $\eta$  obtido a partir da seguinte expressão empírica:

$$\eta = 0,9 + 0,1 \times \text{sen}[(\beta / 360^\circ)^{2,5} \times 360^\circ - 90^\circ]$$

onde  $\beta$  representa o ângulo, em graus, que a normal exterior do elemento estrutural faz com o Norte, medido no sentido horário (ex.: N  $\rightarrow \beta = 0^\circ$ ; S  $\rightarrow \beta = 180^\circ$ ; SO  $\rightarrow \beta = 225^\circ$ ).

Tratando-se de uma zona não enterrada, é necessário ter em conta a cor da superfície da estrutura, bem como a sua orientação. Relativamente a esta orientação, a mesma é tida em conta através do coeficiente “ $\eta$ ” ( $0,8 \leq \eta \leq 1,0$  pois o seno de um dado ângulo varia sempre

entre -1 e 1). Para superfícies horizontais ou faces voltadas para Oeste (270 °) o valor de  $\eta$  é igual a 1.

No caso de o edifício em causa possuir zonas enterradas, devemos no entanto utilizar outra tabela, na qual é necessário distinguir se as zonas possuem profundidade superior ou inferior a 1 metro.

Tabela 31. Temperaturas indicativas de  $T_{out}$  para zonas enterradas [11].

Estação	Profundidade abaixo do solo	Temperatura $T_{out}$
Verão	Inferior a 1m	$T_6 = 18\text{ °C}$
	Superior a 1m	$T_7 = 15\text{ °C}$
Inverno	Inferior a 1m	$T_8$
	Superior a 1m	$T_9$
No Inverno os valores de $T_8$ e $T_9$ dependem da zona em que se encontra o edifício.		
Profundidade:		Zona A      Zona B      Zona C
Inferior a 1 m ( $T_8$ )		0 °C      5 °C      10 °C
Superior a 1 m ( $T_9$ )		3 °C      8 °C      13 °C

Com os valores de  $T_{in}$  e  $T_{out}$  podemos determinar o valor de  $T$  de acordo com a expressão (26) e assim determinar o valor da variação da temperatura uniforme de acordo com a expressão (25) anteriormente referidas:

$$T = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \quad (26)$$

$$\Delta T_u = T - T_0 \quad (25)$$

Relativamente às combinações são considerados dois casos de carga, um para a situação de Inverno e outro para a situação de Verão.

### 3.6. Sísmica

As ações sísmicas regem-se pela norma NP EN1998, a qual fornece especificações para edifícios constituídos estruturalmente por diversos materiais (betão, aço, mistos aço-betão,

alvenaria, madeira), fundações e estruturas de suporte, pontes, entre outros, podendo ser consideradas ações variáveis ou acidentais.

No âmbito deste trabalho pretendeu-se determinar os espectros de resposta elástica e de cálculo, sendo os mesmos a representação básica da ação sísmica.

Um sismo é o resultado de uma súbita libertação de energia na crosta do planeta, que ocorre sobretudo nas fronteiras de placas tectónicas e que se manifesta através de tremores e por vezes deslocamento de terras, pondo em risco o equilíbrio e resistência das estruturas. A norma tem por objetivo assegurar que na ocorrência de sismos as vidas humanas são protegidas, os danos causados a estruturas limitados, e estruturas no âmbito da proteção civil (hospitais, quartel de bombeiros, etc..) mantêm-se operacionais. A mesma norma não abrange no entanto estruturas especiais como centrais nucleares ou barragens.

### 3.6.1. Elementos teóricos e normativos

Quando ocorre um sismo, as acelerações do terreno são transmitidas à estrutura, gerando também na estrutura acelerações, e consequentemente forças. Na prática, o importante é determinar qual a aceleração máxima do terreno durante um sismo, e não a variação da aceleração ao longo da duração do sismo.

A resposta de uma estrutura à ação dos sismos depende fundamentalmente dos seguintes conjuntos de características [7]:

Características não estruturais

- Localização geográfica da estrutura (sismicidade do local)
- Magnitude e distância focal do sismo
- Tipo de terreno

Características estruturais

- Períodos de vibração da estrutura (que dependem por sua vez da massa e rigidez estrutural)
- Coeficiente de amortecimento viscoso
- Ductilidade

Destes, as características mais relevantes são a ductilidade, que permite que os elementos estruturais se deformem com o mínimo de degradação das propriedades resistentes, e o tipo de terreno em causa. Por essa razão, a norma apresenta vários tipos de terreno a ter em conta no estudo da sismicidade tal como indicado na Tabela 32.



Tabela 32. Tipos de terreno [14].

Tipo de terreno	Descrição do perfil estratigráfico	Parâmetros		
		$v_{s,30}$ (m/s)	$N_{SPT}$ (pancadas/30 cm)	$c_u$ (kPa)
A	Rocha ou outra formação geológica de tipo rochoso, que inclua, no máximo, 5 m de material mais fraco à superfície	> 800	–	–
B	Depósitos de areia muito compacta, de seixo (cascalho) ou de argila muito rija, com uma espessura de, pelo menos, várias dezenas de metros, caracterizados por um aumento gradual das propriedades mecânicas com a profundidade	360 – 800	> 50	> 250
C	Depósitos profundos de areia compacta ou medianamente compacta, de seixo (cascalho) ou de argila rija com uma espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Depósitos de solos não coesivos de compactidade baixa a média (com ou sem alguns estratos de solos coesivos moles), ou de solos predominantemente coesivos de consistência mole a dura	< 180	< 15	< 70
E	Perfil de solo com um estrato aluvionar superficial com valores de $v_s$ do tipo C ou D e uma espessura entre cerca de 5 m e 20 m, situado sobre um estrato mais rígido com $v_s > 800$ m/s			

A classificação do solo é fundamental para a determinação de outros parâmetros que serão analisados posteriormente neste documento.

Para a maioria das aplicações da norma a sismicidade é descrita por um único parâmetro, isto é, o valor de referência da aceleração máxima na base num terreno do tipo A,  $a_{gR}$ . Esse valor depende do período de retorno de referência e varia de acordo com as zonas geográficas em estudo. Em Portugal, é necessário considerar dois tipos de acção sísmica, que decorrem do facto de haver dois cenários de geração dos sismos que podem afectar Portugal. Um cenário designado de “afastado” referente, em geral, aos sismos com epicentro na região Atlântica e que corresponde à Acção sísmica Tipo 1 e um cenário designado de “próximo” referente, em geral, aos sismos com epicentro no território Continental, ou no Arquipélago dos Açores, e que corresponde à Acção sísmica Tipo 2. O anexo nacional da norma resume esta informação na Tabela 33.

Tabela 33. Acelerações máximas de referências  $a_{gR}$  (m/s<sup>2</sup>) para várias zonas sísmicas [14].

Acção sísmica Tipo 1		Acção sísmica Tipo 2	
Zona Sísmica	$a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )	Zona Sísmica	$a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )
1.1	2,5	2.1	2,5
1.2	2,0	2.2	2,0
1.3	1,5	2.3	1,7
1.4	1,0	2.4	1,1
1.5	0,6	2.5	0,8
1.6	0,35	–	–

Além disso, são também incluídas listas de concelhos com o respetivo valor de referência  $a_{gR}$  no anexo nacional, bem como os seguintes mapas (Figura 39) que permitem a determinação expedita dos valores a considerar para as diferentes zonas:

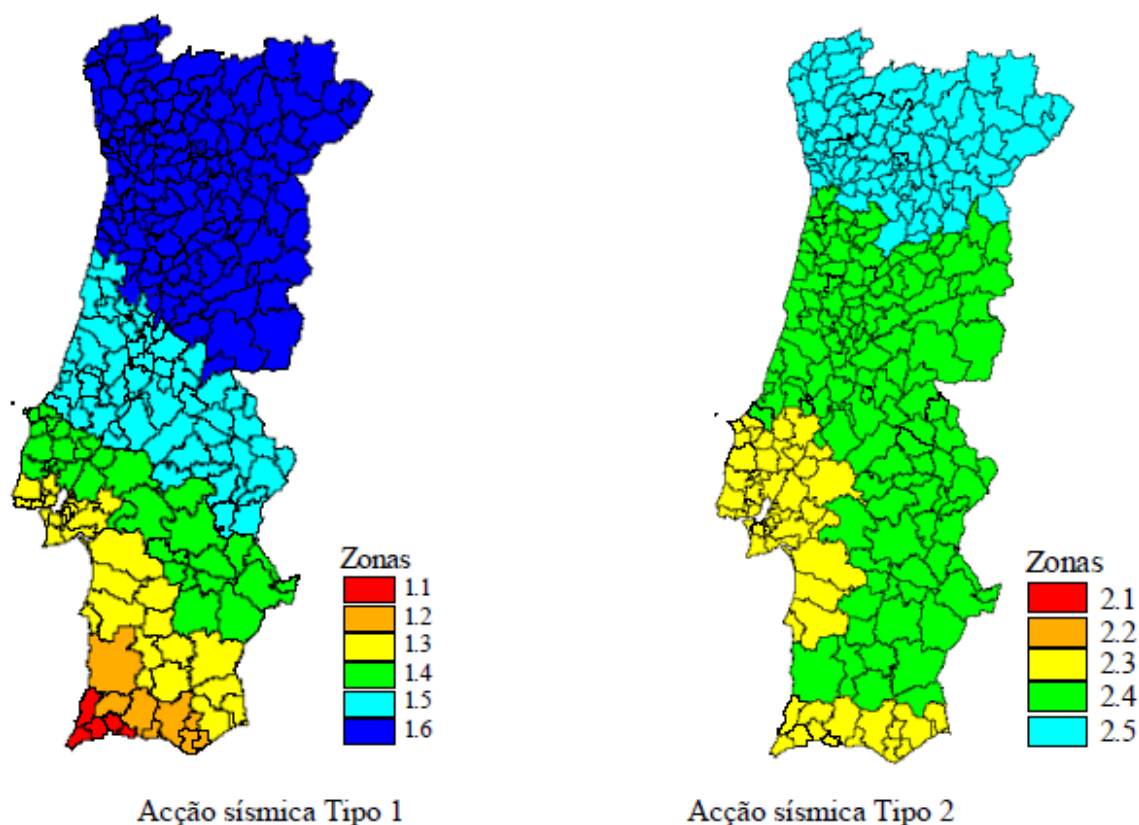


Figura 39. Zonamento sísmico em Portugal Continental [14].



Figura 40. Zonamento sísmico no Arquipélago da Madeira [14].

Grupo Ocidental



Grupo Central



Grupo Oriental

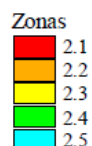


Figura 41. Zonamento sísmico no Arquipélago dos Açores [14].

A lista de concelhos com o respetivo valor encontra-se disponível no anexo deste documento.

Relativamente ao coeficiente de amortecimento viscoso da estrutura  $\xi$ , o mesmo é um valor expresso em percentagem que depende do tipo de estrutura. Geralmente é considerado 5% em estruturas de betão e 3% em estruturas metálicas. Com este coeficiente de amortecimento viscoso, determina-se um outro coeficiente necessário para a quantificação da ação sísmica, o coeficiente de correção do amortecimento  $\eta$ , dado por:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55 \quad (27)$$

Para efeitos da quantificação da ação sísmica as estruturas devem ser classificadas em diferentes classes de acordo com a gravidade das consequências em caso de colapso. A norma distingue os edifícios de acordo com as seguintes classes (Tabela 34):

Tabela 34. Classes de importância de edifícios [14].

Classe de importância	Edifícios
I	Edifícios de importância menor para a segurança pública, como por exemplo edifícios agrícolas, etc.
II	Edifícios correntes, não pertencentes às outras categorias.
III	Edifícios cuja resistência sísmica é importante tendo em vista as consequências associadas ao colapso, como por exemplo escolas, salas de reunião, instituições culturais, etc.
IV	Edifícios cuja integridade em caso de sismo é de importância vital para a protecção civil, como por exemplo hospitais, quartéis de bombeiros, centrais eléctricas, etc.

A cada classe é atribuído um coeficiente  $\gamma_I$  que representa um coeficiente de importância que por sua vez permite obter a aceleração à superfície de um terreno do tipo A (que ao contrário de  $a_{gR}$  não é máxima)  $a_g$  dado por:

$$a_g = \gamma_I \cdot a_{gR} \quad (28)$$

O valor do coeficiente de importância é obtido através da Tabela 35. Relativamente às combinações cada tipo de ação sísmica deve ser considerado um caso isolado [7].

Tabela 35. Coeficientes de importância  $\gamma_I$  [14].

Classe de Importância	Acção sísmica Tipo 1	Acção sísmica Tipo 2	
		Continente	Açores
I	0,65	0,75	0,85
II	1,00	1,00	1,00
III	1,45	1,25	1,15
IV	1,95	1,50	1,35

### 3.6.2. Espectros de resposta

Um espectro de resposta tem por objetivo representar o movimento sísmico de um dado ponto na superfície de um terreno. Existem espectros de deslocamento e velocidade, mas são frequentemente utilizados os espectros de aceleração que tornam a determinação de forças mais práticas através da segunda lei de Newton [7]. Os espectros de resposta elástica de aceleração dependem de vários parâmetros físicos e geotécnicos, a maioria dos quais já referidos nos elementos teóricos e normativos e são constituído por uma função definida por 4 troços.

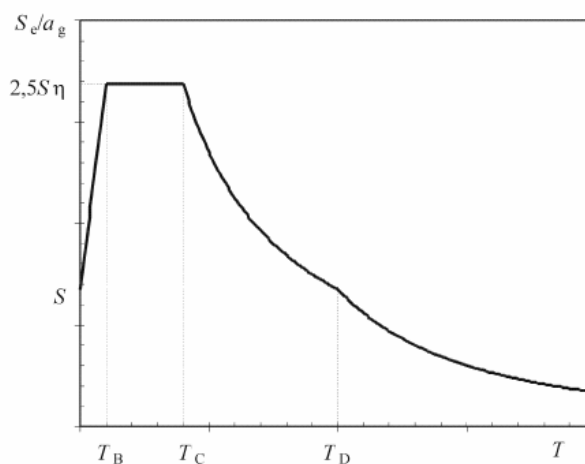


Figura 42. Espectro de resposta elástica [14].

em que:

$Se/ag$  – Efeito sísmico em estruturas

$T$  – Período de vibração da estrutura

É possível verificar que existe um patamar entre  $T_b$  e  $T_c$  onde os efeitos de sísmicos são agravados. Isto acontece devido a um fenómeno de ressonância, pois para esse intervalo de períodos as estruturas possuem frequências de vibração próximas das frequências sísmicas, resultando numa amplificação dos seus efeitos.

A ação sísmica horizontal é descrita por duas componentes ortogonais consideradas independentes e representadas pelo mesmo espectro. O espectro de resposta elástica horizontal é dado pelas seguintes expressões (29, 30, 31 e 32):

$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right] \quad (29)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \quad (30)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[ \frac{T_C}{T} \right] \quad (31)$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[ \frac{T_C T_D}{T^2} \right] \quad (32)$$

em que:

$S_e(T)$  - espectro de resposta elástica

$T$  - período de vibração de um sistema linear com um grau de liberdade

$a_g$  - valor de cálculo da aceleração à superfície para um terreno do tipo A

$T_B$  - limite inferior do período no patamar de aceleração espectral constante

$T_C$  - limite superior do período no patamar de aceleração espectral constante

$T_D$  - valor que define no espectro o início do ramo de deslocamento constante

$S$  - coeficiente de solo

$\eta$  - coeficiente de correção do amortecimento

Os valores de  $\eta$  e  $a_g$  foram já apresentados nos elementos teóricos. Relativamente a  $S$ , em Portugal estipula-se que o mesmo deve ser determinado em função de  $a_g$  do seguinte modo:

$$\text{para } a_g \leq 1 ; S = S_{max} \quad (33)$$

$$\text{para } 1 < a_g < 4 ; S = S_{max} - (S_{max} - 1)/3 \cdot (a_g - 1) \quad (34)$$

$$\text{para } a_g \geq 4 ; S = 1,0 \quad (35)$$

Para a determinação de  $S_{\max}$  e dos períodos  $T_B$ ,  $T_C$  e  $T_D$  o anexo nacional apresenta as Tabelas 36 e 37.

Tabela 36. Parâmetros do espectro de resposta elástico para a ação sísmica do Tipo 1 [14].

Tipo de Terreno	$S_{\max}$	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
A	1,0	0,1	0,6	2,0
B	1,35	0,1	0,6	2,0
C	1,6	0,1	0,6	2,0
D	2,0	0,1	0,8	2,0
E	1,8	0,1	0,6	2,0

Tabela 37. Parâmetros do espectro de resposta elástico para a ação sísmica do Tipo 2 [14].

Tipo de Terreno	$S_{\max}$	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
A	1,0	0,1	0,25	2,0
B	1,35	0,1	0,25	2,0
C	1,6	0,1	0,25	2,0
D	2,0	0,1	0,3	2,0
E	1,8	0,1	0,25	2,0

Por sua vez os espectros verticais apresentam 4 troços similares aos espectros horizontais, que dispensam o coeficiente de solo e utilizam o valor de cálculo da aceleração à superfície do solo na direção vertical  $a_{vg}$ .

$$0 \leq T \leq T_B : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3,0 - 1) \right] \quad (36)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \quad (37)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \left[ \frac{T_C}{T} \right] \quad (38)$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \left[ \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \quad (39)$$

O valor de  $a_{vg}$  pode ser determinado em função de  $a_g$ , juntamente com os restantes parâmetros definidores do espectro elástico vertical na Tabela 38:

Tabela 38. Parâmetros definidores dos espectros de resposta elásticos verticais [14].

Ação sísmica	$a_{vg}/a_g$	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
Tipo 1	0,75	0,05	0,25	1,0
Tipo 2	0,95	0,05	0,15	1,0

Um outro tipo de espectro, mais utilizado para a quantificação da ação sísmica é o espectro de cálculo, que tem em conta a capacidade que os materiais têm para se deformar, ou seja, funcionando em regime não linear. É neste espectro que a ductilidade assume a maior importância, pois a mesma está diretamente relacionada com um coeficiente de comportamento  $q$ , que permite em geral dimensionar uma estrutura para resistir a forças sísmicas inferiores às de uma resposta elástica linear. Para as componentes horizontais da ação sísmica são apresentadas as expressões 40, 41, 42 e 43. Neste espectro são introduzidos dois novos parâmetros,  $q$  e  $\beta$ . O parâmetro  $q$  designa-se coeficiente de comportamento, e não deverá ser superior a 1,5. O parâmetro  $\beta$  é um coeficiente que se traduz valor mínimo a considerar para o efeito da ação sísmica. Este valor mínimo depende do valor de cálculo da aceleração à superfície de um terreno  $a_g$ .

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (40)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \quad (41)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (42)$$

$$T_D \leq T : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (43)$$



O valor de  $\beta$  recomendado é 0,2. Para a componente vertical o espectro de cálculo devem ser utilizadas as mesmas expressões, mas considerando o coeficiente de solo  $S$  igual a 1,0 e sendo utilizado o valor de cálculo da aceleração vertical  $a_{vg}$  ao invés de  $a_g$ . Os restantes parâmetros devem ser semelhantes aos utilizados nos espectros elásticos correspondentes.



## 4. PROGRAMA DE CÁLCULO

Neste capítulo serão apresentados métodos de utilização do programa, que permitirão contrastar o mesmo com os aspetos teóricos do Eurocódigo 1, bem como uma interpretação dos resultados apresentados pelo programa. É também incluída uma breve apresentação dos conceitos fundamentais de programação através de C#.

### 4.1. Linguagem

A linguagem C#, também escrito como **C#** ou **C Sharp** faz parte do conjunto de ferramentas oferecidas na plataforma .NET e surge como uma linguagem simples, robusta, orientada a objetos, fortemente tipada e altamente escalável a fim de permitir que uma mesma aplicação possa ser executada em diversos dispositivos, independentemente destes serem computadores pessoais ou qualquer outro dispositivo móvel.

O avanço das ferramentas de programação e dos dispositivos eletrônicos inteligentes, criou problemas e novas exigências. As novas versões de componentes compartilhados eram incompatíveis com o *software* antigo. Tornou-se assim necessário a criação de *software* que acessível a qualquer utilizador e disponível por meio de praticamente qualquer tipo de dispositivo. Para tratar dessas necessidades, a *Microsoft* anunciou sua iniciativa .NET e a linguagem de programação C#.

#### 4.1.1. Variáveis e tipos de dados

Uma variável representa um local na memória para um pedaço de informação. As variáveis guardam valores que uma aplicação pode aceder e alterar enquanto está a correr. A função de uma variável é armazenar informação que tem um tipo específico. Quando se declara uma variável para armazenar informação é necessário escolher um tipo de dados apropriado para esses dados. O C# é uma linguagem do tipo segura, isto é, o compilador garante que os valores armazenados nas variáveis são sempre do tipo adequado. Alguns tipos de dados mais utilizados [8]:

- *int* - guarda números inteiros
- *float* - guarda números de virgula flutuante
- *double* - guarda números de virgula flutuante com dupla precisão
- *decimal* - guarda valores decimais, mais dirigido a cálculos monetários
- *char* - guarda um carater único
- *bool* - guarda um valor booleano (verdadeiro ou falso)
- *DateTime* - guarda momentos do tempo
- *string* - guarda sequências de caracteres

#### 4.1.2. Classes e objectos

O Visual C# é uma linguagem que utiliza classes e espaços de nomes (namespaces) para modularizar as aplicações em componentes lógicos. Uma classe é essencialmente um modelo que define as características de uma entidade, inclui propriedades que definem os tipos de dados que o objeto pode conter e métodos que descrevem o comportamento do objeto [8].

Podemos análogamente comparar uma classe a vários objetos do quotidiano, como por exemplo um veículo automóvel. Quando falamos em veículos automóveis sabemos que cada veículo tem uma marca, uma cor, pode ser alimentado a gasóleo ou gasolina, ou seja, tem um conjunto de características individuais, mas não deixa de ser um automóvel. Da mesma forma uma classe pode definir vários objectos, que têm uma gama de propriedades em comum, mas às quais são atribuídas valores diferentes [8].

#### 4.1.3. Métodos

Uma parte fundamental do desenvolvimento de qualquer aplicação é dividir a solução em componentes lógicos. Nas linguagens de programação orientadas a objetos, um método é uma unidade de código que é projetado para executar um bocado de trabalho [8].

Um método define um comportamento, contem um bloco de código que define uma ação. Todo o código pertence a um método, não se pode escrever código em C# que não contém pelo menos um método. A capacidade de definir e chamar métodos é uma componente fundamental da programação orientada a objetos, pois os métodos podem encapsular operações que protegem dados. Normalmente qualquer aplicação que se desenvolva terá muitos métodos, cada um com uma finalidade específica [8].

## 4.2. Utilização geral

Ao utilizar o programa pela primeira vez surgirá um breve aviso com informações básicas que podem surgir se o utilizador assim o pretender. Além disso durante a utilização do programa podem surgir pequenos tutoriais que podem ser desativados.

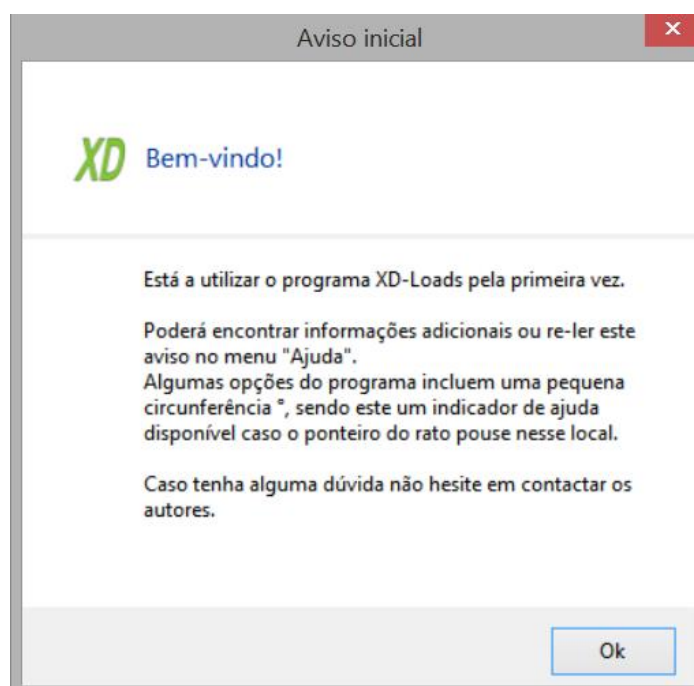


Figura 43. Aviso inicial.

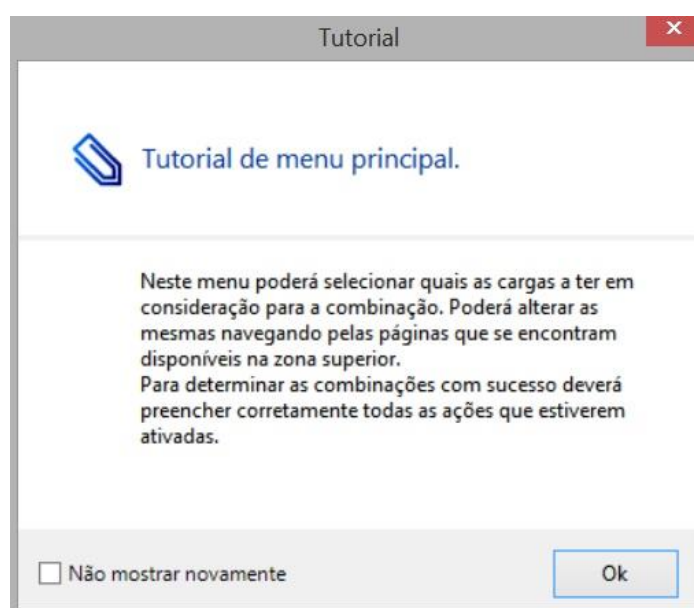


Figura 44. Primeiro tutorial.

Após estes dois breves avisos poderemos utilizar o programa de facto. O programa permite escolher quais as ações a considerar no grupo “*Ações a considerar*”, abrindo pequenas abas relativas às ações quando as mesmas são ativadas. Torna-se assim possível navegar no programa chegando rapidamente à ação que se pretende quantificar, mantendo o ambiente do programa visualmente limpo e claro.

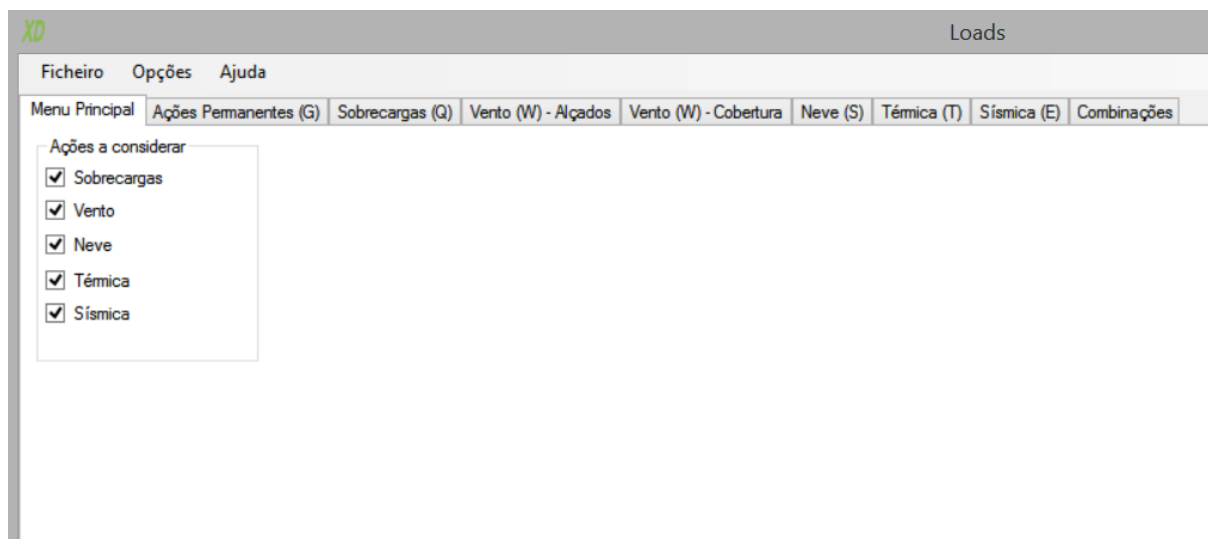


Figura 45. O programa de cálculo apresentando todas as ações.



Figura 46. Programa considerando sobrecargas e neve.

Além dos tutoriais podemos obter mais informações acerca da utilização do programa pousando o rato em locais que possuem uma pequena circunferência “ ° ” sendo este um indicador de ajuda disponível.

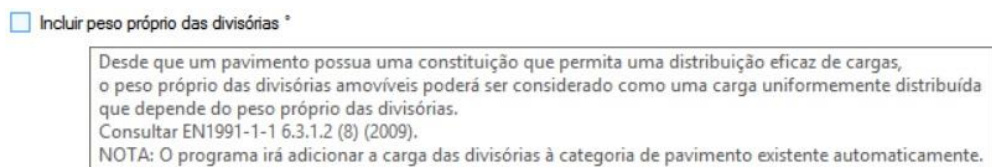


Figura 47. Indicador de ajuda e mensagem.

Por sua vez as caixas de resultados, quando existentes, apresentam uma cor bege, que as distingue das caixas onde é necessário introduzir dados de cor branca, ou caixas com resultados de cálculos intermédios de cor cinza.

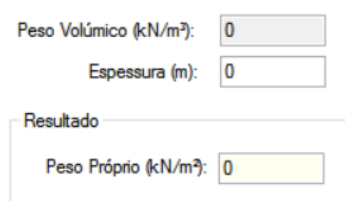


Figura 48. Coloração de caixas com funções distintas.

Todas as unidades do programa se apresentam de acordo com o sistema internacional, sendo estas Metros (m), Kilogramas (kG), Newtons (N), Graus (°) e graus Celsius (°C). Estas informações estão também disponíveis no menu “Ajuda” do programa.

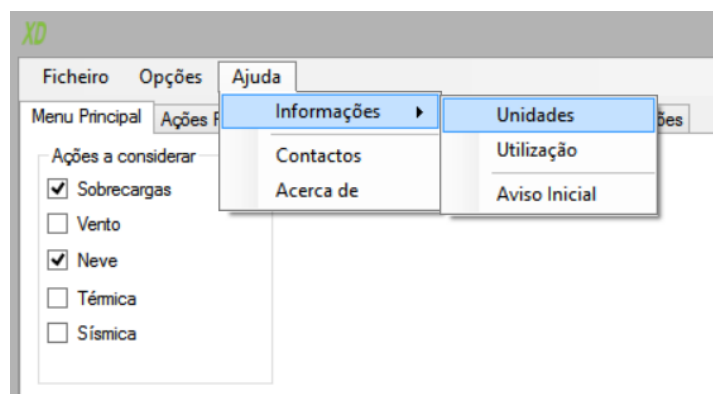


Figura 49. Menu de ajuda.

#### 4.2.1. Opções

O menu de opções apresenta duas categorias distintas, as configurações gerais do programa, e as tabelas de coeficientes de combinação. Serão analisadas individualmente.

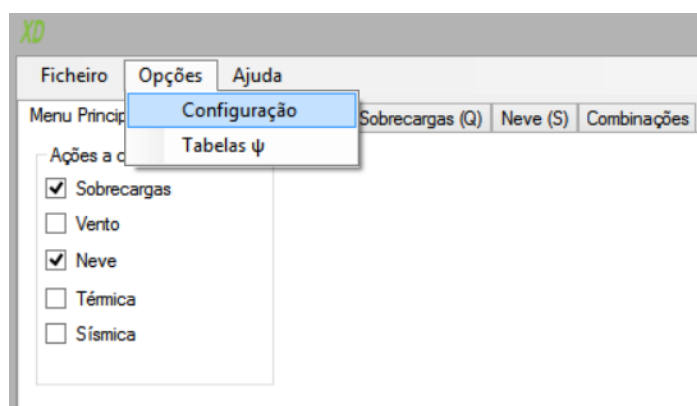


Figura 50. Menu de opções.

A janela de configuração permite modificar o comportamento geral do programa. É possível, em situações específicas, alterar o comportamento relativo às ações provocadas pelo peso próprio ou pela ação do vento em coberturas. Relativamente ao peso próprio podemos combinar ou não o peso de diversos elementos com dimensões diferentes simultaneamente através da opção “*Método combinado para pesos próprios*”. Este assunto será abordado com mais detalhe na categoria “Pesos próprios” no contexto de programa de cálculo visto ser uma opção relacionada com a programação e não com a normalização da ação peso próprio. Quanto à ação do vento em coberturas de quatro vertentes a norma não indica qual o caso a ser utilizado para as orientações do vento de 90°, apresentado na tabela dois casos para a orientação de 0°. Por esse motivo foi criada uma opção adicional que considera os dois casos também para a orientação de 90° e 270°.

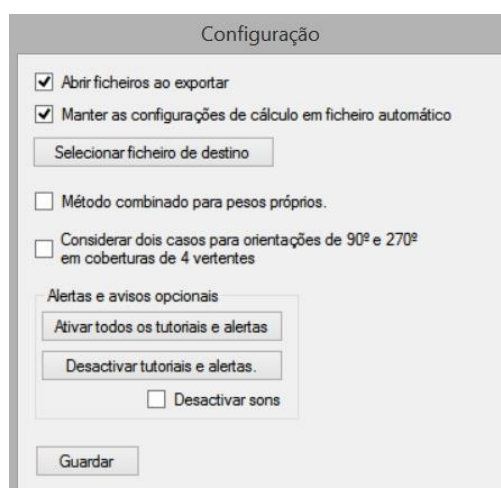


Figura 51. Configuração do programa.

Relativamente às restantes opções, tratam-se de opções de facilidade de utilização. É possível abrir automaticamente um ficheiro exportado sem ser necessário deslocar-se à localização do



mesmo se mantiver a opção “Abrir ficheiros ao exportar” ativada. Todas as alterações que efectuar na quantificação de ações são mantidas automaticamente por defeito. Pode no entanto desactivar a opção “Manter as configurações de cálculo em ficheiro automático” e sempre que voltar a abrir o programa ele surgirá sem as configurações anteriores. É também possível ativar ou desativar todos os tutoriais e alertas, bem como os sons produzidos pelos mesmos.

As tabelas de coeficientes de combinação, designadas “Tabelas  $\psi$ ”, contêm os coeficientes que vão ser utilizados nas combinações. Deste modo caso surjam alterações em futuras edições dos Eurocódigos será possível modificar estas tabelas e obter resultados válidos.

Tabelas  $\psi$

Ação	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
▶ Sobrecarga Cat. A	0.7	0.5	0.3
Sobrecarga Cat. B	0.7	0.5	0.3
Sobrecarga Cat. C	0.7	0.7	0.6
Sobrecarga Cat. D	0.7	0.7	0.6
Sobrecarga Cat. E	1	0.9	0.8
Sobrecarga Cat. F	0.7	0.7	0.6
Sobrecarga Cat. G	0.7	0.5	0.3
Sobrecarga Cat. H	0	0	0
*			

Ação	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
▶ 4 Países Nórdicos	0.7	0.5	0.2
H > 1000	0.7	0.5	0.2
H < 1000	0.5	0.2	0
*			

Ação	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
▶ Ação Vento	0.6	0.2	0
*			

Recuperar tabelas Pré-Definidas

☐ Importar tabelas automaticamente

Importar tabelas

Exportar tabelas

Guardar e voltar ao programa

Figura 52. Tabelas de coeficientes de combinação.

#### 4.3. Combinações e tratamento de dados

Após quantificar corretamente as ações e selecionar o tipo de combinação pretendida é possível apresentar as combinações resultantes em 5 formatos de dados diferentes no grupo “Tipo de tabela de resultados”. Dos vários formatos destaca-se a opção “4 Casos de W separadamente com expressão concatenada” que apresenta as combinações numa só expressão numa coluna dedicada. Os restantes tipos de tabela embora não sejam tão claros a nível de interpretação e visualização das combinações são no entanto úteis para a exportação e manipulação de dados por outros programas informáticos.

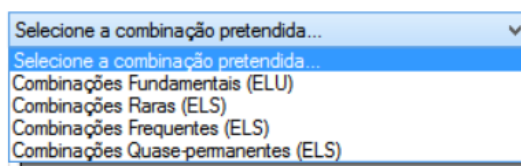


Figura 53. Tipos de combinações.

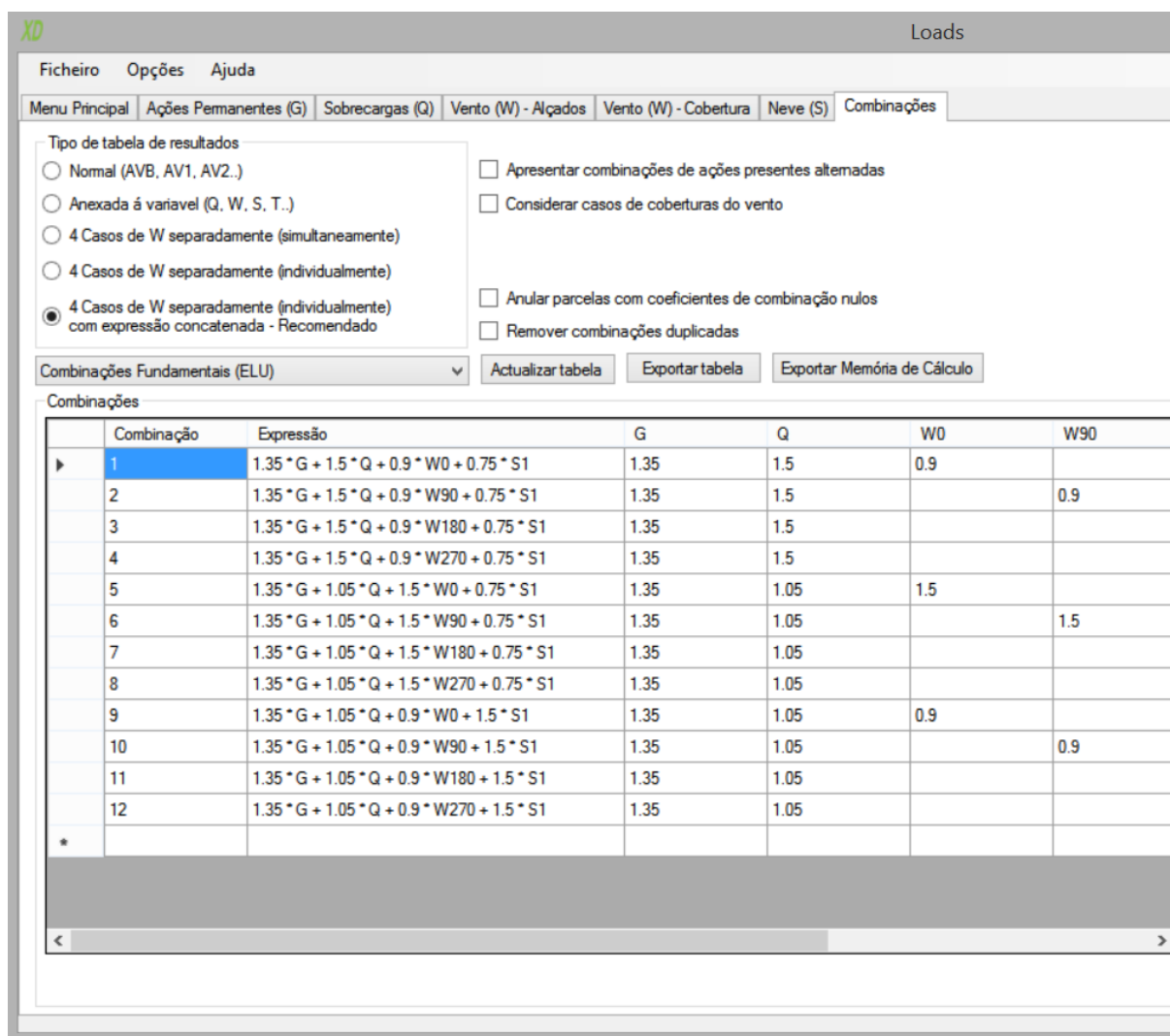


Figura 54. Combinações fundamentais com expressão concatenada.

Como indica a figura apresentada é possível exportar a tabela de combinações resultante, ou a memória de cálculo para as todas as opções efectuadas pelo utilizador bem como parâmetros tidos em conta. Além disso é frequente nas combinações Quase-Permanentes os coeficientes de combinação terem valores nulos, nesses casos poderão aparecer várias combinações em duplicado. É possível no entanto remover as linhas duplicadas, activando a opção “Anular ações nulas” e “Remover combinações duplicadas” simultâneamente.

**Loads**

Ficheiro Opções Ajuda

Menu Principal Ações Permanentes (G) Sobrecargas (Q) Vento (W) - Alçados Vento (W) - Cobertura Neve (S) Combinações

Tipo de tabela de resultados

- ☐ Normal (AVB, AV1, AV2..)
- ☐ Anexada á variável (Q, W, S, T..)
- ☐ 4 Casos de W separadamente (simultaneamente)
- ☐ 4 Casos de W separadamente (individualmente)
- ☒ 4 Casos de W separadamente (individualmente) com expressão concatenada - Recomendado

☐ Apresentar combinações de ações presentes alternadas

☐ Considerar casos de coberturas do vento

☐ Anular parcelas com coeficientes de combinação nulos

☐ Remover combinações duplicadas

Combinações Quase-permanentes (ELS) ▼

Atualizar tabela Exportar tabela Exportar Memória de Cálculo

Combinações

Combinação	Expressão	G	Q	W0	W90	W180	W270
1	$1 * G + 0.3 * Q$	1	0.3	0			
2	$1 * G + 0.3 * Q$	1	0.3		0		
3	$1 * G + 0.3 * Q$	1	0.3			0	
4	$1 * G + 0.3 * Q$	1	0.3				0
*							

Figura 55. Combinações quase-permanentes sem remoção de duplicados.

**Loads**

Ficheiro Opções Ajuda

Menu Principal Ações Permanentes (G) Sobrecargas (Q) Vento (W) - Alçados Vento (W) - Cobertura Neve (S) Combinações

Tipo de tabela de resultados

- ☐ Normal (AVB, AV1, AV2..)
- ☐ Anexada á variável (Q, W, S, T..)
- ☐ 4 Casos de W separadamente (simultaneamente)
- ☐ 4 Casos de W separadamente (individualmente)
- ☒ 4 Casos de W separadamente (individualmente) com expressão concatenada - Recomendado

☐ Apresentar combinações de ações presentes alternadas

☐ Considerar casos de coberturas do vento

☒ Anular parcelas com coeficientes de combinação nulos

☒ Remover combinações duplicadas

Combinações Quase-permanentes (ELS) ▼

Atualizar tabela Exportar tabela Exportar Memória de Cálculo

Combinações

Combinação	Expressão	G	Q	W0	W90	W180	W270
1	$1 * G + 0.3 * Q$	1	0.3	0	0	0	0
*							

Figura 56. Combinações quase-permanentes com remoção de duplicados.

Nas combinações fundamentais é ainda possível considerar as combinações onde as ações desempenham um efeito favorável, bem como os casos de carga de coberturas de vento distintos para cada tipo de cobertura através das opções “*Apresentar combinações de ações presentes alternativas*” e “*Considerar casos de cobertura do vento*”, respetivamente.

**Loads**

Ficheiro Opções Ajuda

Menu Principal Ações Permanentes (G) Sobrecargas (Q) Vento (W) - Alçados Vento (W) - Cobertura Neve (S) Combinações

Tipo de tabela de resultados

☐ Normal (AVB, AV1, AV2...)
 ☒ Anexada á variável (Q, W, S, T...)
 ☐ 4 Casos de W separadamente (simultaneamente)
 ☐ 4 Casos de W separadamente (individualmente)
 ☒ 4 Casos de W separadamente (individualmente) com expressão concatenada - Recomendado

☒ Apresentar combinações de ações presentes alternadas
 ☒ Considerar casos de coberturas do vento
 ☐ Anular parcelas com coeficientes de combinação nulos
 ☒ Remover combinações duplicadas

Combinações Fundamentais (ELU) ▼ Atualizar tabela Exportar tabela Exportar Memória de Cálculo

Combinações

Combinação	Expressão	G	Q	W0	W90
1	$1.35 \cdot G$	1.35			
2	$1.35 \cdot G + 0.75 \cdot S1$	1.35			
3	$1.35 \cdot G + 0.9 \cdot W0-1$	1.35		$0.9 \cdot W0-1$	
4	$1.35 \cdot G + 0.9 \cdot W0-1 + 0.75 \cdot S1$	1.35		$0.9 \cdot W0-1$	
5	$1.35 \cdot G + 0.9 \cdot W0-2$	1.35		$0.9 \cdot W0-2$	
6	$1.35 \cdot G + 0.9 \cdot W0-2 + 0.75 \cdot S1$	1.35		$0.9 \cdot W0-2$	
7	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q$	1.35	1.5		
8	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q + 0.75 \cdot S1$	1.35	1.5		
9	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot W0-1$	1.35	1.5	$0.9 \cdot W0-1$	
10	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot W0-1 + 0.75 \cdot S1$	1.35	1.5	$0.9 \cdot W0-1$	
11	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot W0-2$	1.35	1.5	$0.9 \cdot W0-2$	
12	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot W0-2 + 0.75 \cdot S1$	1.35	1.5	$0.9 \cdot W0-2$	
13	$1.35 \cdot G + 0.9 \cdot W90-1$	1.35			$0.9 \cdot W90-1$
14	$1.35 \cdot G + 0.9 \cdot W90-1 + 0.75 \cdot S1$	1.35			$0.9 \cdot W90-1$
15	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot W90-1$	1.35	1.5		$0.9 \cdot W90-1$

Figura 57. Combinações com ações favoráveis e diversificação de casos de carga do vento.

#### 4.4. Pesos próprios

No decorrer deste trabalho as ações permanentes consideradas são função dos valores nominais de pesos volúmcicos de materiais de construção encontrados no Anexo A da norma EN 1991-1-1 (2009) que constituem geralmente a estrutura de edifícios. Do mesmo anexo fazem parte tabelas de materiais de armazenamento, que estão incluídas no programa de cálculo, mas não são considerados pela norma como pesos próprios estruturais, podendo ser aplicados apenas se for conhecida a utilização prevista de pavimentos de armazenamento específicos.

#### 4.4.1. Funcionalidades

O programa apresenta os materiais passíveis de constituir o peso próprio na aba “*Ações Permanentes (G)*”. Nesta é possível encontrar uma lista de tabelas, constituídas pelo Anexo A da norma EN 1991-1-1 (2009), como a seguir se apresenta.

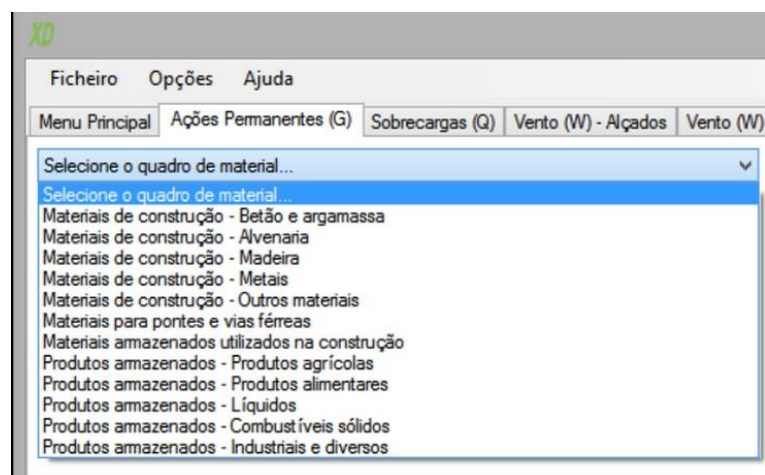


Figura 58. Quadros de pesos volúmicos.

Ao selecionar um dos quadros, é apresentada a lista de materiais para a tabela correspondente, sendo possível selecionar então o material específico pretendido.



Figura 59. Quadro de betão e argamassa.

Ao preencher a espessura pretendida, obtem-se a carga uniformemente distribuída correspondente em  $\text{kN/m}^2$ .

Peso Volúmico (kN/m³): 24

Espessura (m): 0.5

Resultado

Peso Próprio (kN/m²): 12.0

Figura 60. Definição de espessura e consequente resultado.

O utilizador pode em qualquer altura definir o peso volúmico que desejar, ativando a opção “*Definição manual*”.

☒ Definição manual

Peso Volúmico (kN/m³): 13

Espessura (m): 0.5

Resultado

Peso Próprio (kN/m²): 6.5

Figura 61. Definição manual de peso volúmico.

O programa permite ainda a determinação do valor da ação da atuação de vários materiais em conjunto, com o limite de um material por grupo, ativando a opção “*Método combinado para pesos próprios*” que se encontra nas opções gerais do programa. Supondo que teríamos um elemento de betão a atuar em conjunto com contraplacado de painéis lamelados, e placa de acrílico, escolheríamos cada elemento no quadro adequado, preenchendo a espessura do elemento que selecionamos, tal como indicado nas Figuras 62, 63 e 64.

Materials de construção - Betão e argamassa

Betão e argamassa

☐ Betão leve - LC 1,0

☐ Betão leve - LC 1,2

☐ Betão leve - LC 1,4

☐ Betão leve - LC 1,6

☐ Betão leve - LC 1,8

☐ Betão leve - LC 2,0

☒ Betão normal

☐ Betão pesado

☐ Argamassa de cimento

☐ Argamassa de gesso

☐ Argamassa bastarda

☐ Argamassa de cal

Elementos de cálculo

Betão e argamassa

Peso Volúmico (kN/m³): 24

Espessura (m): 0.5

Figura 62. Definição de betão em método combinado para pesos próprios.

Materials de construção - Madeira

Madeira maciça

☐ Classe de resistência C14    ☐ Classe de resistência D30  
☐ Classe de resistência C16    ☐ Classe de resistência D35  
☐ Classe de resistência C18    ☐ Classe de resistência D40  
☐ Classe de resistência C22    ☐ Classe de resistência D50  
☐ Classe de resistência C24    ☐ Classe de resistência D60  
☐ Classe de resistência C27    ☐ Classe de resistência D70  
☐ Classe de resistência C30  
☐ Classe de resistência C35  
☐ Classe de resistência C40

Madeira lamelada cortada

☐ Homogénea GL24h    ☐ Combinada GL24c  
☐ Homogénea GL28h    ☐ Combinada GL28c  
☐ Homogénea GL32h    ☐ Combinada GL32c  
☐ Homogénea GL36h    ☐ Combinada GL36c

Contraplacado

☐ Contraplacado de resinosas  
☐ Contraplacado de bétula  
☒ Contraplacado de painéis lamelados

Aglomerado de partículas

☐ Aglomerado ligado por resinas sintéticas  
☐ Aglomerado ligado por cimento  
☐ Aglomerado de partículas longas e orientadas

Aglomerado de fibras

☐ Aglomerado de fibras duro ("Hardboard")  
☐ Aglomerado de fibras de média densidade ("MDF")  
☐ Aglomerado de fibras brando ("Softboard")

Elementos de cálculo

Madeira maciça

Peso Volúmico (kN/m³): 0

Espessura (m): 0

Madeira lamelada cortada

Peso Volúmico (kN/m³): 0

Espessura (m): 0

Contraplacado

Peso Volúmico (kN/m³): 4.5

Espessura (m): 0.1

Aglomerado de partículas

Peso Volúmico (kN/m³): 0

Espessura (m): 0

Figura 63. Definição de contraplacado em método combinado para pesos próprios.

Materials de construção - Outros materiais

Outros materiais

☐ Vidro partido  
☐ Vidro em chapas  
☒ Placa de acrílico  
☐ Poliestireno expandido, grânulos  
☐ Espuma de vidro

Elementos de cálculo

Outros materiais

Peso Volúmico (kN/m³): 12

Espessura (m): 0.05

Figura 64. Definição de uma placa de acrílico em método combinado para pesos próprios.

Após este processo o programa indicará automaticamente qual o resultado do somatório dos pesos próprios dos vários elementos.

Resultado

Peso Próprio (kN/m²): 13.05

Figura 65. Resultado com método combinado para pesos próprios.

Enquanto este modo estiver ativo, poderemos consultar todos os elementos que fazem parte do cálculo no botão “*Consultar opções definidas*”.

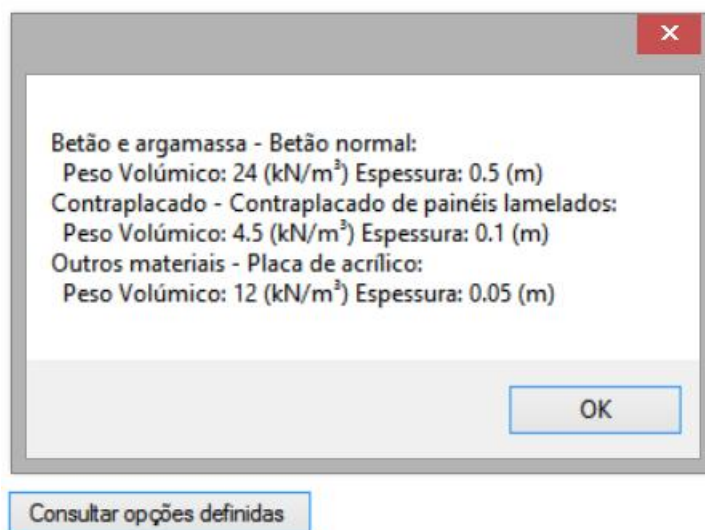


Figura 66. Consulta de materiais definidos em método combinado.

É importante referir que há elementos das tabelas exigem a consulta de outras normas, como é o caso de alguns materiais de alvenaria e de betão pesado, nesses casos o programa alerta para a necessidade de consultar essas normas, e sugere a definição manual de peso volúmico do material.

#### 4.4.2. Resultados

Os resultados apresentados na caixa de resultados das ações permanentes correspondem á simples multiplicação aritmética do peso volúmico ( $\text{kN/m}^3$ ) pela espessura do material (m), resultando numa carga uniformemente distribuída aplicada à estrutura ( $\text{kN/m}^2$ ). Caso tenha a opção “*Método combinado para pesos próprios*” ativada, há ainda a soma das diferentes parcelas relativas aos diferentes materiais escolhidos.

Alguns exemplos de resultados podem ser encontrados durante a exposição das funcionalidades, devido às diversas formas de obter resultados.



## 4.5. Sobrecargas

### 4.5.1. Funcionalidades

O programa apresenta as sobrecargas na aba “*Sobrecargas (Q)*”. Os tipos de pavimentos a seleccionar apresentam-se de um modo similar aos pesos próprios, através de uma lista.

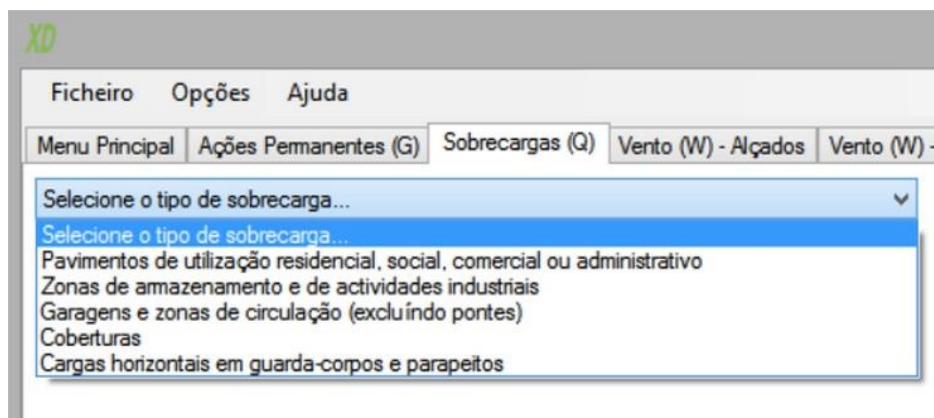


Figura 67. Seleção do tipo de sobrecarga.

De acordo com a listagem inicial surgem as categorias correspondentes, com uma breve descrição semelhante à da norma, bem como a possibilidade de alternar o tipo de análise pretendida. O resultado da quantificação da sobrecarga aparece imediatamente, bem como os coeficientes de combinação a utilizar para a categoria seleccionada, visto os coeficientes de combinação variarem de acordo com as diferentes categorias de pavimento.

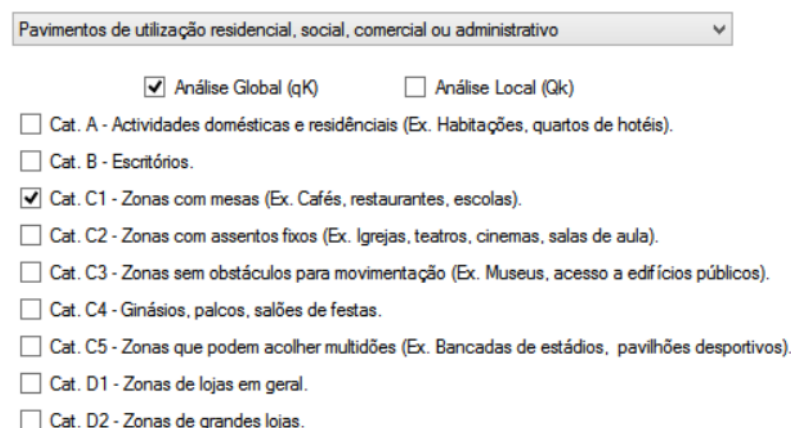


Figura 68. Categorias de pavimentos de utilização residencial, social, comercial ou administrativa.

Os pavimentos de utilização residencial, social, comercial ou administrativo possuem também duas opções anexas, que permitem quantificar as ações em escadas e varandas, ou incluir o peso próprio de divisórias móveis.

Pavimentos de utilização residencial, social, comercial ou administrativo ▼

☒ Análise Global ( $qK$ )    ☐ Análise Local ( $Qk$ )

☒ Cat. A - Actividades domésticas e residências (Ex. Habitações, quartos de hotéis).    ☐ Zonas adjacentes ao pavimento \*

☐ Cat. B - Escritórios.    ☐ Incluir peso próprio das divisórias \*

☐ Cat. C1 - Zonas com mesas (Ex. Cafés, restaurantes, escolas).

☐ Cat. C2 - Zonas com assentos fixos (Ex. Igrejas, teatros, cinemas, salas de aula).

☐ Cat. C3 - Zonas sem obstáculos para movimentação (Ex. Museus, acesso a edifícios públicos).

☐ Cat. C4 - Ginásios, palcos, salões de festas.

☐ Cat. C5 - Zonas que podem acolher multidões (Ex. Bancadas de estádios, pavilhões desportivos).

☐ Cat. D1 - Zonas de lojas em geral.

☐ Cat. D2 - Zonas de grandes lojas.

Figura 69. Apresentação de zonas adjacentes ao pavimento e inclusão de peso próprio das divisórias.

☒ Zonas adjacentes ao pavimento \*

Tipo de zona adjacente

☒ Escadas \*

☐ Varandas \*

Figura 70. Escadas e varandas.

☒ Incluir peso próprio das divisórias \*

Peso próprio da divisória

☒  $< 1,0kN/m$  (inferior a 100Kg/m)

☐  $1,0kN/m < < 2,0kN/m$  (entre 100 a 200 Kg/m)

☐  $> 2,0kN/m$  (superior a 200 Kg/m)

Figura 71. Peso próprio de divisórias móveis.

No caso da sobrecarga causada por empilhadores a norma apenas apresenta valores de carga concentrada, estando a opção “*Análise Global ( $qK$ )*” bloqueada. No caso de cargas horizontais em divisórias ou parapeitos e guarda-corpos apenas se apresentam valores característicos de cargas lineares, estando neste caso a opção “*Análise Local ( $Qk$ )*” bloqueada.

É importante referir que à semelhança dos pesos próprios, há elementos exigem a consulta de outros elementos normativos, especificamente a Categoria E2. Caso o utilizador selecione essa opção, o programa alerta para a necessidade de consultar essas norma.

### 4.5.2. Resultados

Relativamente aos resultados, apresentam-se os valores característicos para as categorias correspondentes encontrados na NP EN1991-1-1, bem como os coeficientes de combinação encontrados na NP EN1990 também de acordo com as categorias previstas.

Resultado				
	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$	
Sobrecarga (kN/m²):	3	0.7	0.7	0.6

Figura 72. Apresentação de resultado para a categoria de pavimento C1.

## 4.6. Vento

### 4.6.1. Funcionalidades

O programa apresenta as ações do vento em duas abas distintas, a aba “*Vento (W) – Alçados*” e a aba “*Vento (W) – Coberturas*”, ambas serão analisadas nos subcapítulos “*Faces*” e “*Coberturas*” respetivamente. O programa de cálculo está desenhado para permitir edificações num volume de 100metros cúbicos e a altura não pode ser superior a quatro vezes qualquer uma das dimensões em planta.

#### 4.6.1.1. Faces

A aba “*Vento (W) – Alçados*” refere-se à geometria volumétrica do edifício bem como condições territoriais e permite determinar quais as pressões a considerar nas faces do edifício.

Por defeito o programa considera que o edifício se encontra na zona A, e que a categoria de terreno corresponde a uma zona costeira, sendo possível alterar estas definições em qualquer altura.

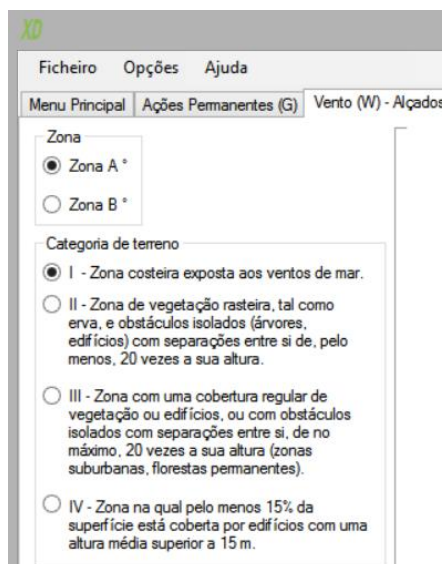


Figura 73. Zona e categoria de terreno.

Para obter resultados é necessário preencher correctamente a geometria do edifício, sendo apresentada uma planta de acordo com a geometria definida.

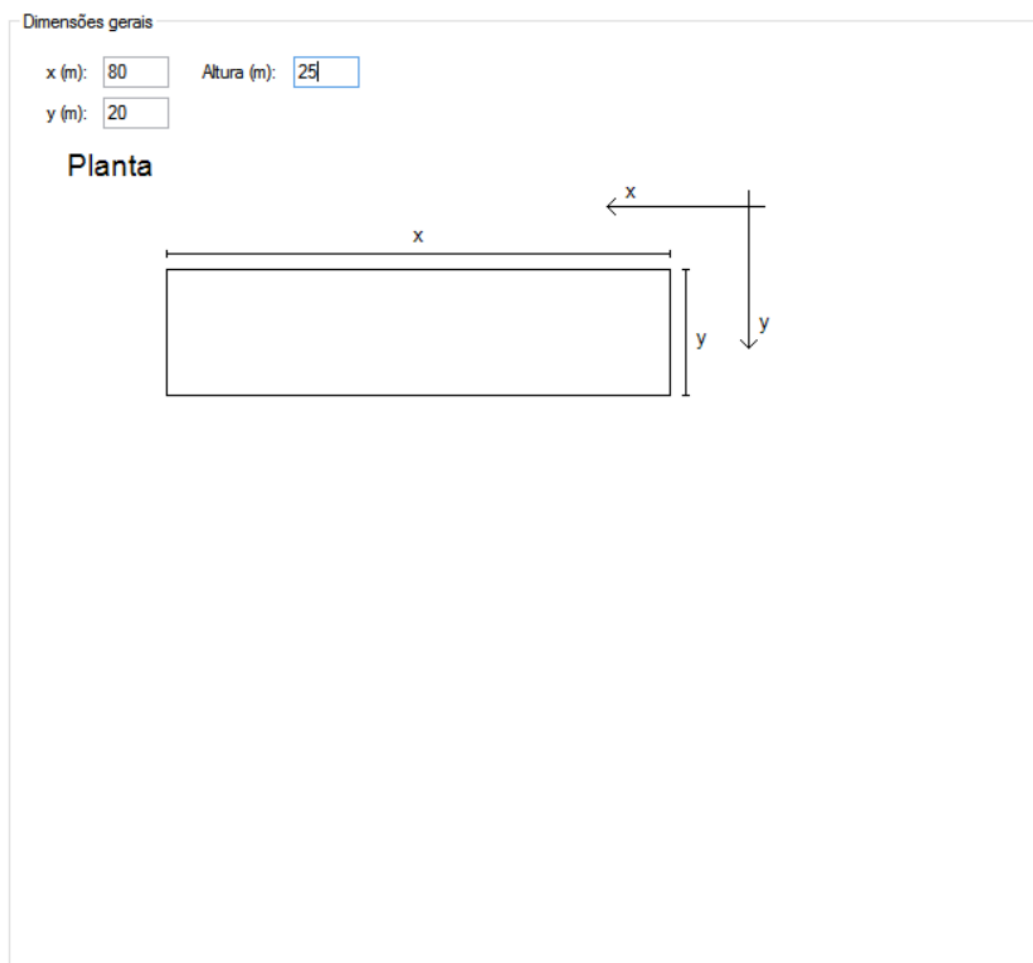


Figura 74. Definição de geometria.

Após preencher correctamente as dimensões, o programa apresenta quais os coeficientes de pressão e qual o diagrama de pressões dinâmicas de pico a considerar para a face a barlavento, seja esta em que direção for.

Situação

☒ Dimensões gerais

☐ Pressão dinâmica na direção X (face de Y)

☐ Pressão dinâmica na direção Y (face de X)

☐ Ações do vento na direção X

☐ Ações do vento na direção Y

Pressão dinâmica na direção X

y h

qp(z) 1.5805 1.66762

Pressão dinâmica na direção Y

Ze

qp(z) 1.66762

Ações do vento na direção X

h/d 0.3125

	A	B	C	D	E
Cpe,10	-1.2	-0.8	-0.5	0.7083	-0.3166
Cpe,1	-1.4	-1.1	-0.5	1	-0.3166

Ações do vento na direção Y

h/d 1.25

	A	B	D	E
Cpe,10	-1.2	-0.8	0.8	-0.5125
Cpe,1	-1.4	-1.1	1	-0.5125

Dimensões gerais

x (m): 80 Altura (m): 25

y (m): 20

Planta

Figura 75. Apresentação de dados.

Para visualizar com detalhe as pressões dinâmicas de pico a considerar ou a dimensão das zonas nas faces laterais alternando a visualização no grupo “Situação”.

**Situação**

☐ Dimensões gerais

☒ Pressão dinâmica na direção X (face de Y)

☐ Pressão dinâmica na direção Y (face de X)

☐ Ações do vento na direção X

☐ Ações do vento na direção Y

**Pressão dinâmica na direção X**

Altura (m)  $y$  20  $h$  25

$q_p(z)$  1.5805 1.66762

**Pressão dinâmica na direção Y**

$z_e$

$q_p(z)$  1.66762

**Ações do vento na direção X**

$h/d$  0.3125

	A	B	C	D	E
Cpe,10	-1.2	-0.8	-0.5	0.7083	-0.3166
Cpe,1	-1.4	-1.1	-0.5	1	-0.3166

**Ações do vento na direção Y**

$h/d$  1.25

	A	B	D	E
Cpe,10	-1.2	-0.8	0.8	-0.5125
Cpe,1	-1.4	-1.1	1	-0.5125

**Pressão dinâmica na direção X**

**fachada do edifício**

**altura de referência**

**perfil de pressão dinâmica**

$y < h \leq 2y$

$z_e = h$

$z_e = y$

$q_p(z) = q_p(h)$

$q_p(z) = q_p(y)$

Figura 76. Pressão dinâmica de pico detalhada (Face a barlavento).

**Situação**

☐ Dimensões gerais

☐ Pressão dinâmica na direção X (face de Y)

☐ Pressão dinâmica na direção Y (face de X)

☒ Ações do vento na direção X

☐ Ações do vento na direção Y

**Pressão dinâmica na direção X**

Altura (m)  $y$  20  $h$  25

$q_p(z)$  1.5805 1.66762

**Pressão dinâmica na direção Y**

$z_e$

$q_p(z)$  1.66762

**Ações do vento na direção X**

$h/d$  0.3125

	A	B	C	D	E
Cpe,10	-1.2	-0.8	-0.5	0.7083	-0.3166
Cpe,1	-1.4	-1.1	-0.5	1	-0.3166

**Ações do vento na direção Y**

$h/d$  1.25

	A	B	D	E
Cpe,10	-1.2	-0.8	0.8	-0.5125
Cpe,1	-1.4	-1.1	1	-0.5125

**Ações do vento na direção X**

**Planta**

**Alçado**

$e$  (m) 20  $d-e$  (m) 60

$e/5$  (m) 4  $4/5e$  (m) 16

**Planta**

**Alçado**

$e$  (m) 20  $d-e$  (m) 60

$e/5$  (m) 4  $4/5e$  (m) 16

Figura 77. Faces laterais detalhadas.

Algumas opções específicas da ação do vento são a consideração do coeficiente de orografia para a determinação da pressão dinâmica de pico, a possibilidade de considerar a proximidade de construções vizinhas, que irá alterar a altura do edifício a ter em conta, e ainda a possibilidade de verificar os resultados de cálculos intermédios necessários à determinação da pressão dinâmica de pico.

z	Cr	Iv	Vm	Qp (kN/m²)
25	1.37736	0.11740	37.1889	1.57479

Figura 78. Opções relativas à ação do vento.

#### 4.6.1.2. Coberturas

A aba “Vento (W) – Coberturas” permite seleccionar o tipo de cobertura e configurar a sua geometria após a definição volumétrica do edifício na aba apresentada anteriormente.

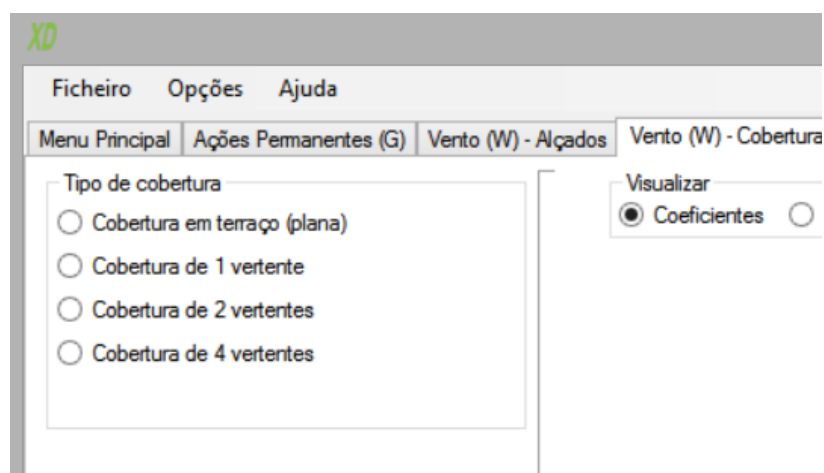


Figura 79. Tipos de cobertura.

No caso de se tratar de uma cobertura plana é necessário definir qual o tipo de bordo, e em alguns dos bordos definir elementos geométricos. Caso estes elementos ultrapassem as definições das tabelas de coeficientes de pressão apresentados na norma, o programa emitirá um aviso e corrigirá o valor automaticamente.

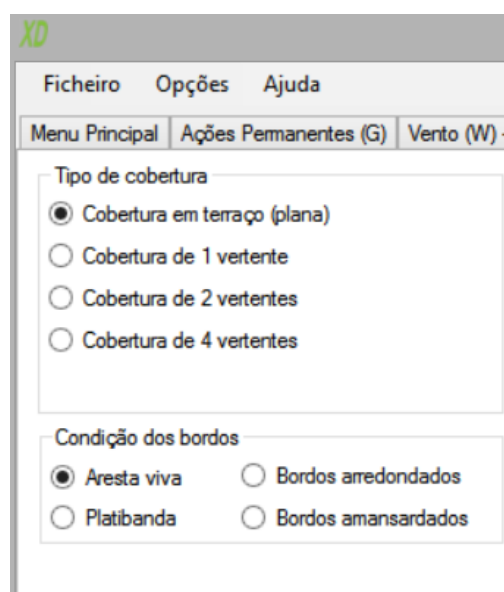


Figura 80. Tipos de bordo de cobertura em terraço.



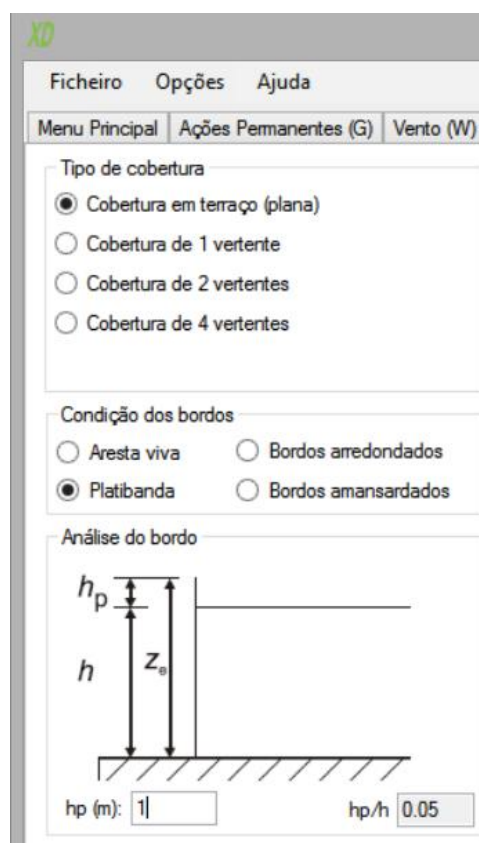


Figura 81. Detalhe geométrico de platibanda em cobertura em terraço.

Nos restantes tipos de cobertura, é apenas necessário inserir quais os ângulos das vertentes. Caso os ângulos inseridos forem inferior a  $5^\circ$ , o programa emitirá um aviso remetendo para as coberturas em terraço.

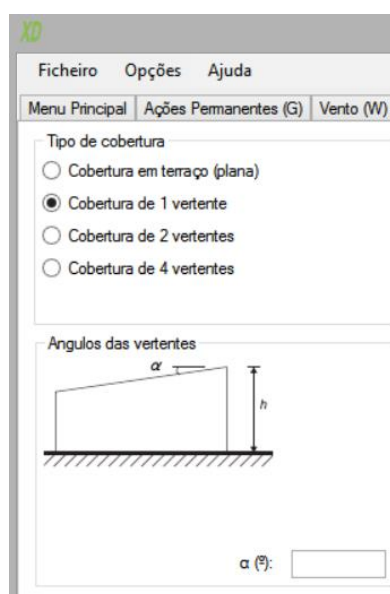


Figura 82. Cobertura de uma vertente.

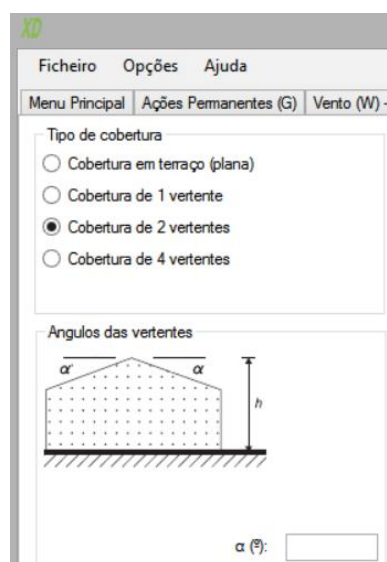


Figura 83. Cobertura de duas vertentes.

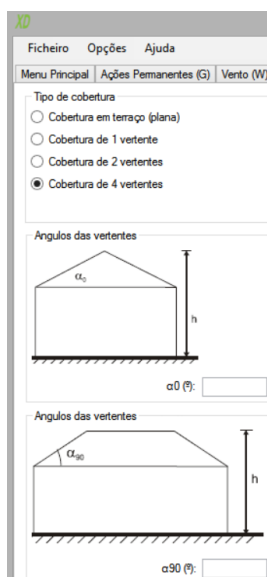


Figura 84. Cobertura de quatro vertentes.

## 4.6.2. Resultados

### 4.6.2.1. Faces

Após preencher correctamente as dimensões do edifício o programa apresenta desde logo os coeficientes de pressão exterior que irá utilizar, no entanto para um resultado mais directo e intuitivo o programa apresenta os diagramas através do botão “*Consultar tabela de diagramas*”.

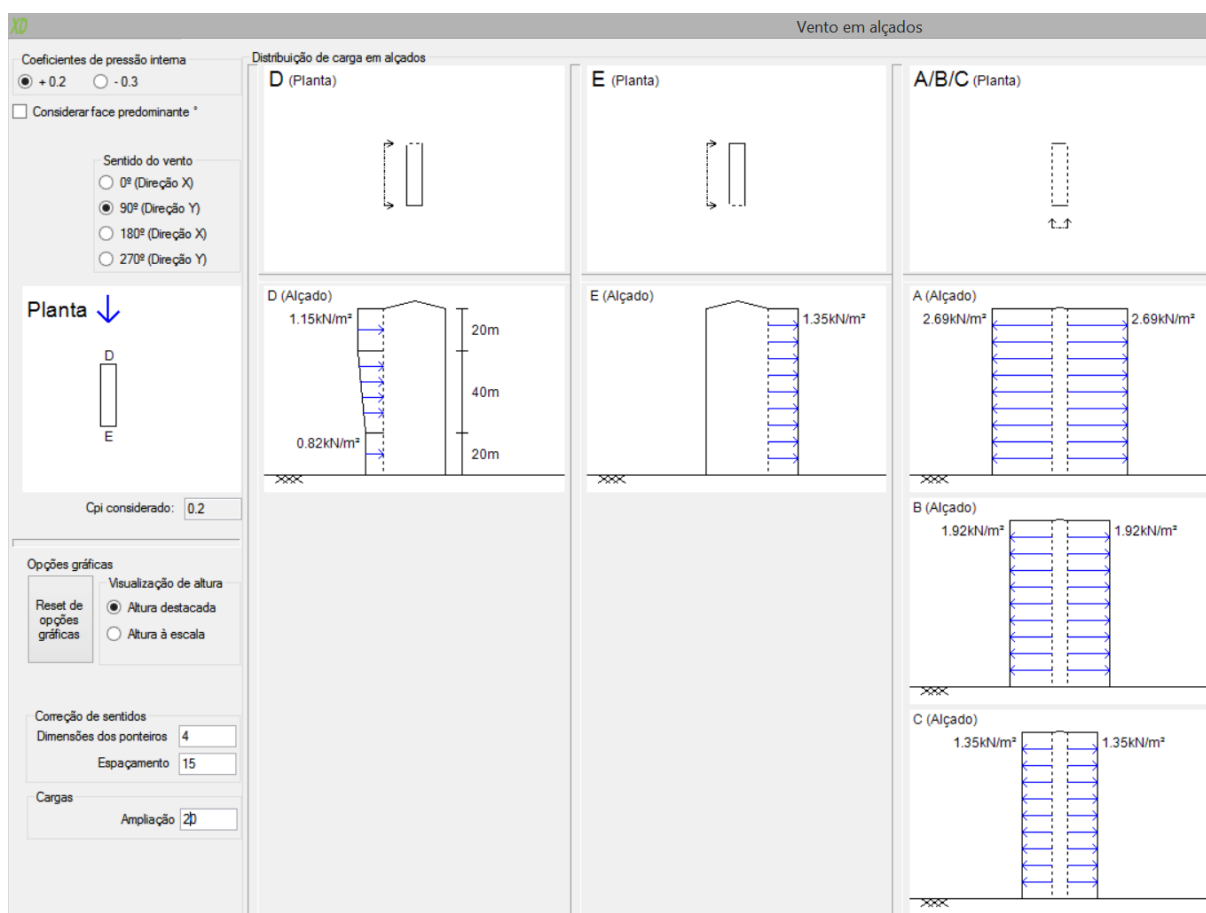


Figura 85. Pressões nas faces do edifício.

Na janela apresentada é possível visualizar quais as pressões do vento nas faces, e para qualquer direção, tendo ainda em conta o coeficiente de pressão interna.

Poderá seleccionar entre os coeficientes de pressão interior prescritos pela norma, ou pela consideração de uma face predominante. Nesta situação, poderá seleccionar qual a face com esta propriedade nos botões radiais que se apresentam à esquerda dos sentidos, seleccionando o botão radial ao lado da orientação que leva a ação do vento a incidir na fachada predominante. Por exemplo na Figura 86, o botão radial de face predominante está alinhado com a orientação 0°. Isto significa que a face à esquerda é a predominante, pois é aquela que se encontra a barlavento quando o vento actua a 0°. Para consultar as distâncias das zonas A, B, e C deverá consultar as opções “Ações do vento na direção X” e “Ações do vento na direção Y” que se encontram na aba “Vento (W) – Alçados”.

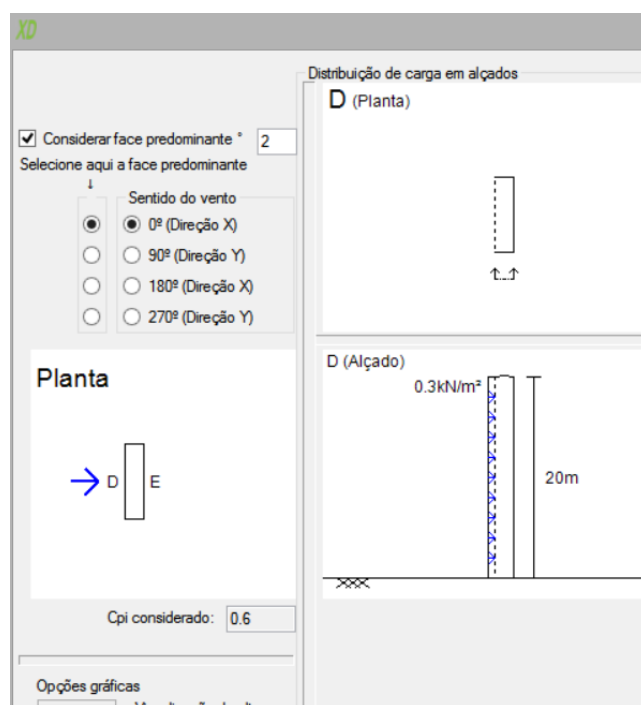


Figura 86. Seleção de face predominante.

#### 4.6.2.2. Coberturas

Ao preencher corretamente as dimensões do edifício e a geometria da cobertura, o programa irá apresentar um esquema da cobertura pretendida, assinalando através de um mapa de cores quais os coeficientes a considerar para as diferentes zonas da cobertura, bem como os coeficientes de pressão exterior ou a pressão resultante para um determinado coeficiente de pressão interior para os vários casos de cobertura. É possível analisar quais as zonas a ter em conta para cada sentido do vento, modificando o sentido no grupo “*Sentido da ação*” e alternar a visualização entre os coeficientes de pressão exterior ou a pressão resultante no grupo “*Visualizar*”.

Ao visualizar “*Ações (kN/m<sup>2</sup>)*”, poderá selecionar entre os coeficientes de pressão interior prescritos pela norma, ou pela consideração de uma face predominante, que funciona de um modo similiar à ação do vento nas faces, bastando selecionar o botão radial ao lado da orientação que leva a ação do vento a incidir na fachada predominante.

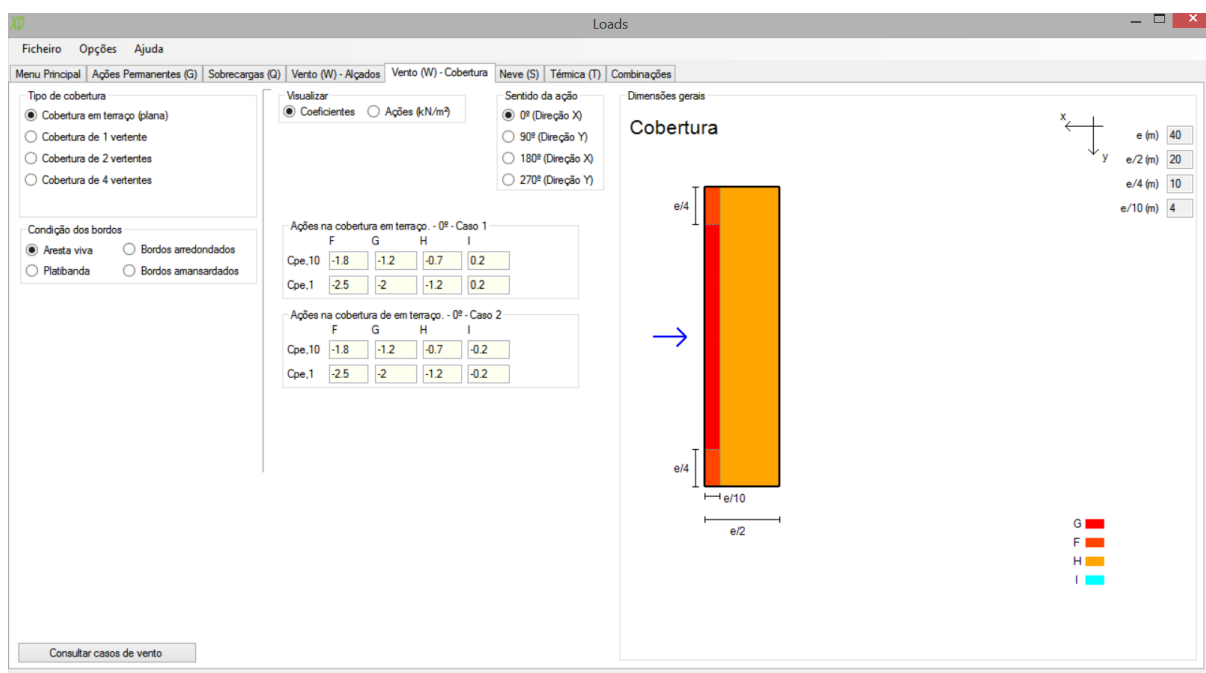


Figura 87. Apresentação de planta de cobertura e coeficientes de pressão exterior.

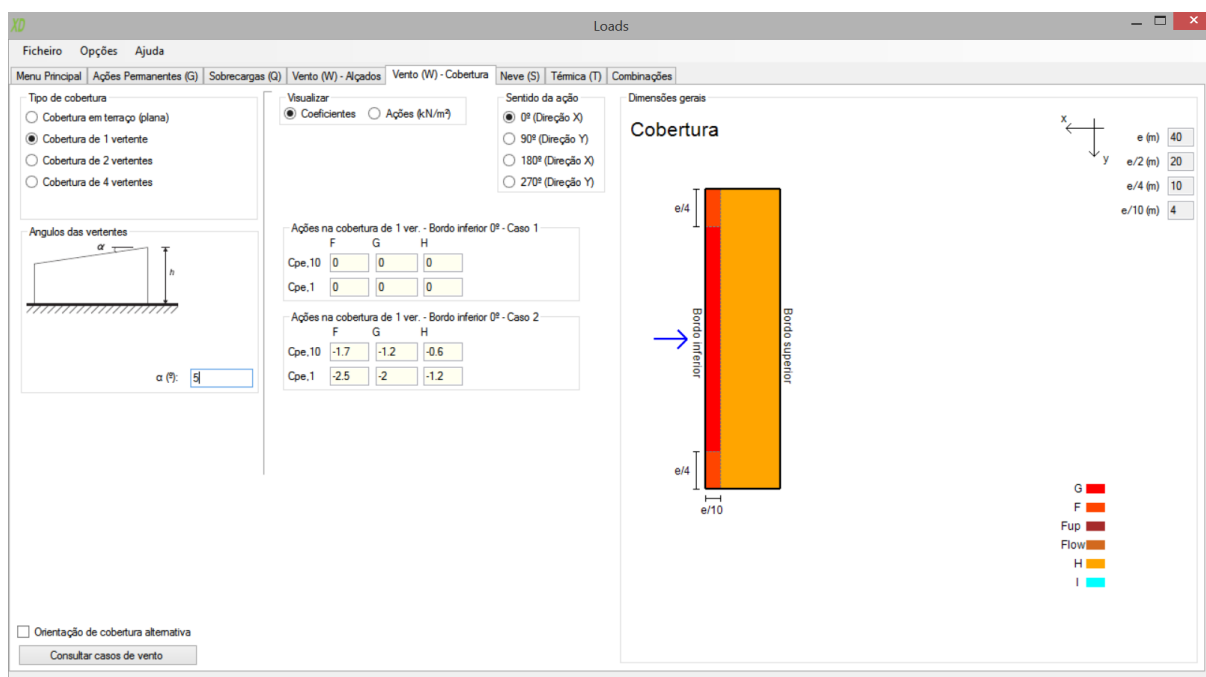


Figura 88. Casos para uma cobertura de uma vertente na orientação 0° e de inclinação 5°.

**Loads**

Ficheiro Opções Ajuda

Menu Principal | Ações Permanentes (G) | Sobrecargas (Q) | Vento (W) - Alçados | Vento (W) - Cobertura | Neve (S) | Térmica (T) | Combinações

Tipo de cobertura

- ☐ Cobertura em terraço (plana)
- ☐ Cobertura de 1 vertente
- ☒ Cobertura de 2 vertentes
- ☐ Cobertura de 4 vertentes

Angulos das vertentes

$\alpha$  (°): 5

Visualizar

- ☒ Coeficientes
- ☐ Ações (kN/m²)

Sentido da ação

- ☒ 0° (Direção X)
- ☐ 90° (Direção Y)
- ☐ 180° (Direção X)
- ☐ 270° (Direção Y)

Dimensões gerais

Cobertura

$e$  (m): 40  
 $e/2$  (m): 20  
 $e/4$  (m): 10  
 $e/10$  (m): 4

Ações na cobertura de 2 ver. - 0° - Caso 1

	F	G	H	I	J
Cpe,10	0	0	0	-0.6	-0.6
Cpe,1	0	0	0	-0.6	-0.6

Ações na cobertura de 2 ver. - 0° - Caso 2

	F	G	H	I	J
Cpe,10	-1.7	-1.2	-0.6	0	0.2
Cpe,1	-2.5	-2	-1.2	0	0.2

Ações na cobertura de 2 ver. - 0° - Caso 3

	F	G	H	I	J
Cpe,10	-1.7	-1.2	-0.6	-0.6	-0.6
Cpe,1	-2.5	-2	-1.2	-0.6	-0.6

Ações na cobertura de 2 ver. - 0° - Caso 4

	F	G	H	I	J
Cpe,10	0	0	0	0	0.2
Cpe,1	0	0	0	0	0.2

☐ Orientação de cobertura alternativa

Consultar casos de vento

Figura 89. Casos para cobertura de duas vertentes na orientação 0° e de inclinação 5°.

**Loads**

Ficheiro Opções Ajuda

Menu Principal | Ações Permanentes (G) | Sobrecargas (Q) | Vento (W) - Alçados | Vento (W) - Cobertura | Neve (S) | Térmica (T) | Combinações

Tipo de cobertura

- ☐ Cobertura em terraço (plana)
- ☐ Cobertura de 1 vertente
- ☐ Cobertura de 2 vertentes
- ☒ Cobertura de 4 vertentes

Angulos das vertentes

$\alpha_0$  (°): 5

Angulos das vertentes

$\alpha_{90}$  (°): 5

Visualizar

- ☒ Coeficientes
- ☐ Ações (kN/m²)

Sentido da ação

- ☒ 0° (Direção X)
- ☐ 90° (Direção Y)
- ☐ 180° (Direção X)
- ☐ 270° (Direção Y)

Dimensões gerais

Cobertura

$e$  (m): 40  
 $e/2$  (m): 20  
 $e/4$  (m): 10  
 $e/10$  (m): 4

Ações na cobertura de 4 ver. - 0° - Caso 1

	F	G	H	I	J
Cpe,10	0	0	0	-0.3	-0.6
Cpe,1	0	0	0	-0.3	-0.6

Ações na cobertura de 4 ver. - 0° - Caso 2

	F	G	H	I	J
Cpe,10	-1.7	-1.2	-0.6	-0.3	-0.6
Cpe,1	-2.5	-2	-1.2	-0.3	-0.6

☐ Orientação de cobertura alternativa

Consultar casos de vento

Figura 90. Casos para a cobertura de quatro vertentes com orientação 0° e inclinação de 5°.

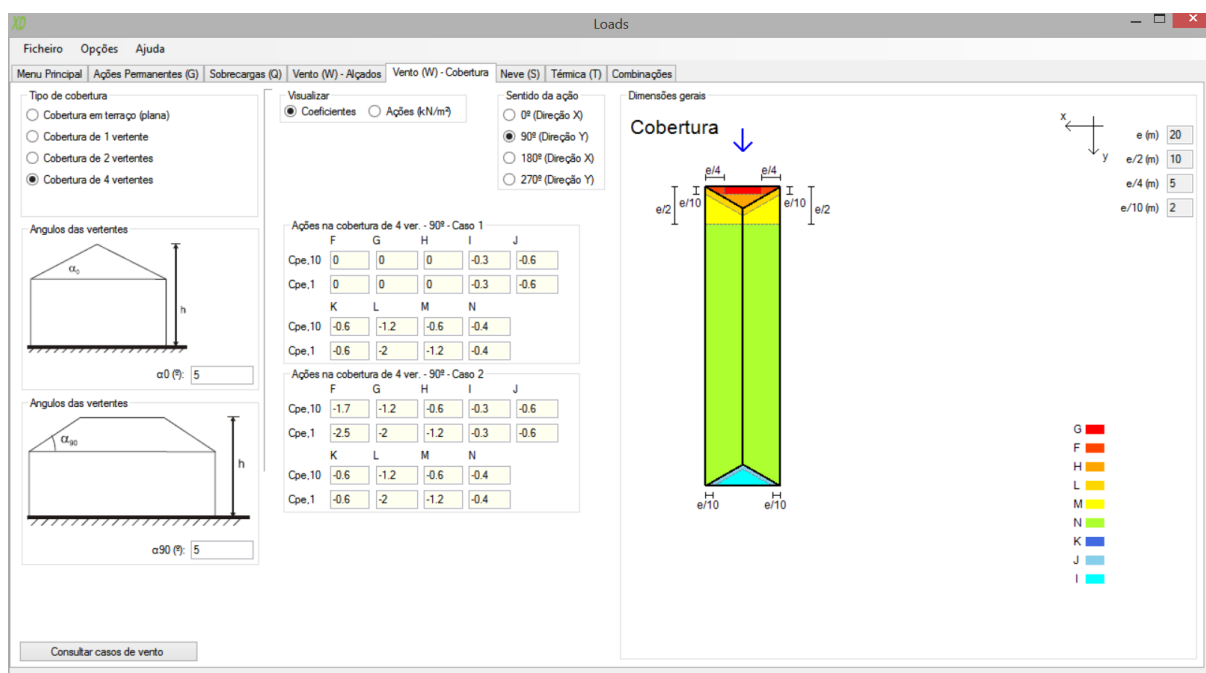


Figura 91. Casos para a cobertura de quatro vertentes com orientação de 90° e inclinação 5°.

Nas coberturas de uma e duas vertentes, é ainda possível trocar a direção dos bordos distintos e do cume respetivamente, através da opção “Orientação de cobertura alternativa”.

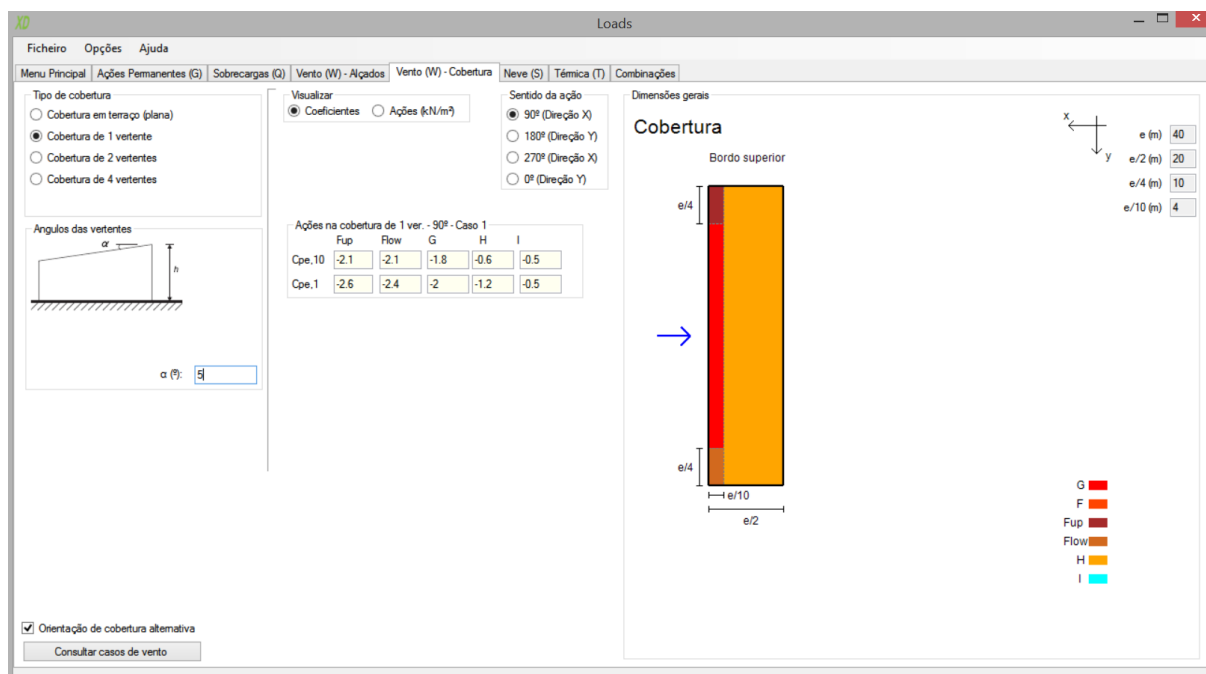


Figura 92. Orientação alternativa em cobertura de uma vertente.

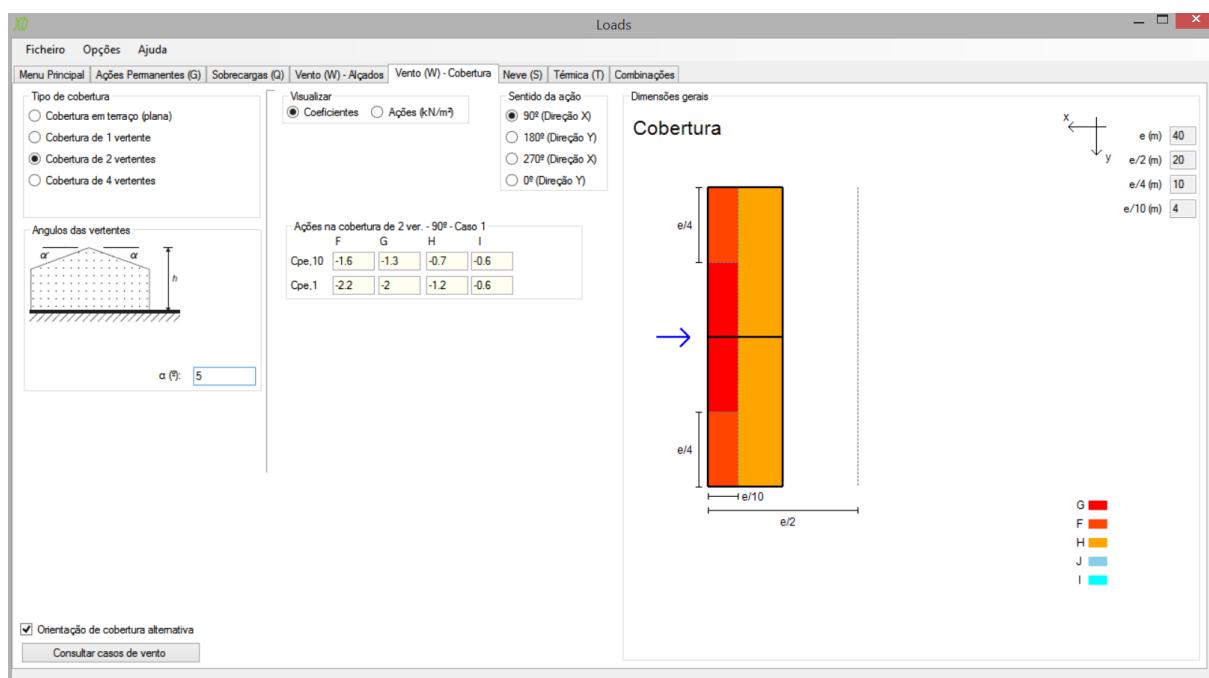


Figura 93. Orientação alternativa em cobertura de duas vertentes.

É também possível verificar quais os casos de carga que as combinações fundamentais poderão ter em conta através da opção “*Considerar casos de cobertura do vento*”, através do botão “*Consultar casos de neve*”.

Caso	Código de Caso
0° - Caso 1	W0-1
0° - Caso 2	W0-2
180° - Caso 1	W180-1
180° - Caso 2	W180-2
90° - Caso 1	W90-1
90° - Caso 2	W90-2
270° - Caso 1	W270-1
270° - Caso 2	W270-2

Figura 94. Casos de neve para cobertura em terraço.



## 4.7. Neve

### 4.6.3. Funcionalidades

O programa apresenta as ações da neve na aba “*Neve (S)*”. Nesta aba podemos definir rapidamente qual a zona em questão bem como a altitude, o coeficiente térmico e as condições topográficas.

A interface do programa X0, aba "Neve (S)", apresenta os seguintes elementos:

- Menu:** Ficheiro, Opções, Ajuda.
- Submenu:** Menu Principal, Ações Permanentes (G), Sobrecargas (Q), Vento (W) - Alçados, Vento (W) - Cobertura, Neve (S).
- Zona:**
  - Botão: Definir zona através de mapa
  - Selecione uma zona... (menu suspenso)
- Altitude do local (m):** 0
- Coeficiente térmico \*:** 1
- Topografia:**
  - ☐ Exposta ao vento \*
  - ☒ Normal \*
  - ☐ Abrigada \*
- Elementos de cálculo:**
  - Carga da neve ao nível do solo: 0
  - ce: 1, ct: 1, cesl: 2.5
  - $\psi_0$ : 0.5,  $\psi_1$ : 0.2,  $\psi_2$ : 0
- Botão:** Consultar casos de neve

Figura 95. Dados gerais relativos à neve.

Se desejar é possível consultar um mapa para selecionar a zona, através do botão “*Definir zona através de mapa*”, sendo também possível consultar com detalhe os concelhos em causa, pousando o rato na indicação das zonas.

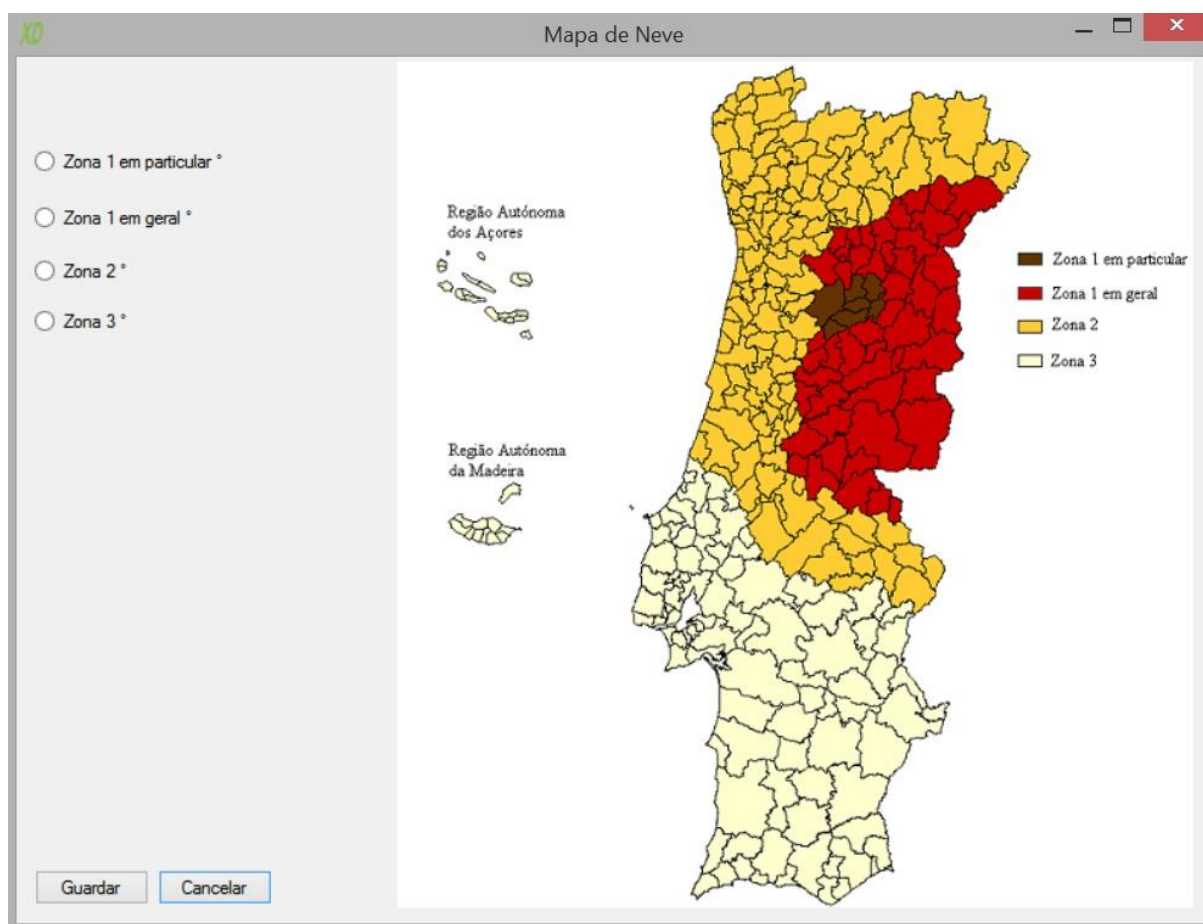


Figura 96. Zonamento através de mapa.

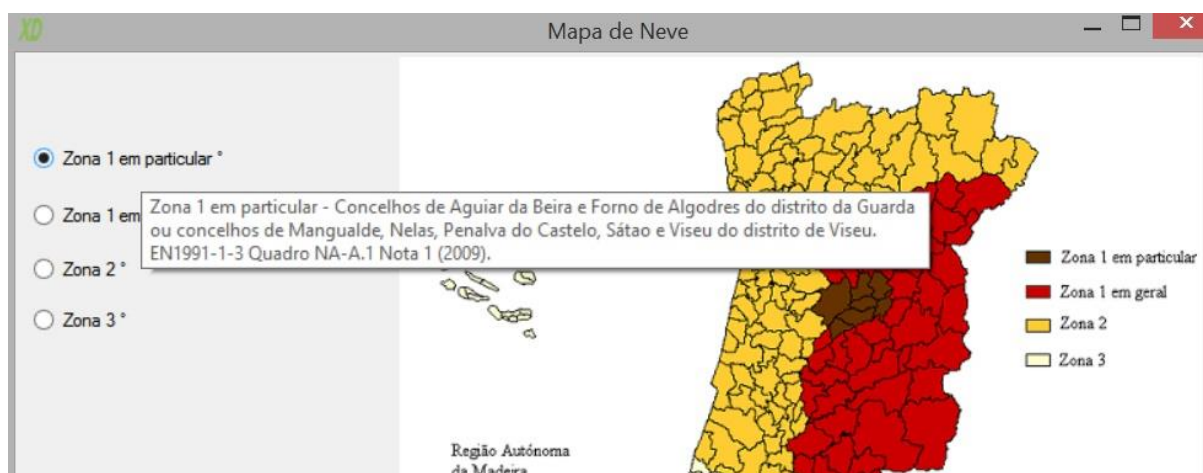


Figura 97. Lista de concelhos detalhada.

É possível verificar qual a carga de neve associada para a altura e zona definida, bem como os restantes coeficientes necessários ao cálculo da carga da neve, e também os coeficientes de combinação no grupo “*Elementos de cálculo*”.

Elementos de cálculo

Carga da neve ao nível do solo:

ce	ct	cesl
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2.5"/>
$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="0.2"/>	<input type="text" value="0"/>

Figura 98. Elementos de cálculo.

Após seleccionar a zona, é possível seleccionar o tipo de análise que se pretende efectuar, sendo sempre necessário definir primeiro qual o tipo de cobertura na opção “*Cobertura e efeitos globais*”.

Zona

Definir zona através de mapa

Zona 1 - Em geral

Tipo de análise

☐ Cobertura e efeitos globais
☐ Efeitos locais

Figura 99. Zona e tipos de análise.

Ao selecionar “*Cobertura e efeitos globais*” apresenta-se um grupo com os tipos de cobertura disponíveis, que permitem não só alterar o tipo de cobertura, como definir os ângulos das mesmas.

Zona

Definir zona através de mapa

Zona 1 - Em geral

Altitude do local (m):

0

Coefficiente térmico \*:

1

Topografia

☐ Exposta ao vento \*
 ☒ Normal \*
 ☐ Abrigada \*

Elementos de cálculo

Carga da neve ao nível do solo:

0.3

ce

1

ct

1

cesl

2.5

$\psi_0$

0.5

$\psi_1$

0.2

$\psi_2$

0

Tipo de análise

☒ Cobertura e efeitos globais
 ☐ Efeitos locais

Tipo de cobertura

☒ Coberturas de uma vertente
 ☐ Coberturas de duas vertentes
 ☐ Coberturas múltiplas de duas vertentes

Coefficientes de forma

Vert.  $\alpha_1$

$\mu_1$

Cobertura de uma vertente

Ângulo de inclinação da vertente  $\alpha$  (°):

☐ Cobertura plana

$\mu_1$

Figura 100. Tipos de cobertura.

Após preencher os ângulos das vertentes, os valores do coeficiente de forma são apresentados no grupo “*Coeficientes de forma*”.

Tipo de análise

☒ Cobertura e efeitos globais
☐ Efeitos locais

Tipo de cobertura

☐ Coberturas de uma vertente
☒ Coberturas de duas vertentes
☐ Coberturas múltiplas de duas vertentes

Coefficientes de forma

Vert.  $\alpha_1$

Vert.  $\alpha_2$

$\mu_1$  0.8

0.5333

Coberturas de duas vertentes

Ângulo de inclinação da vertente  $\alpha_1$  (°): 15

Ângulo de inclinação da vertente  $\alpha_2$  (°): 40

Caso (i)

$\mu_1(\alpha_1)$

$\mu_1(\alpha_2)$

Caso (ii)

$0,5\mu_1(\alpha_1)$

$\mu_1(\alpha_2)$

Caso (iii)

$\mu_1(\alpha_1)$

$0,5\mu_1(\alpha_2)$

Figura 101. Definição de inclinação das vertentes e consequente coeficiente de forma.

Relativamente aos efeitos locais apresenta-se uma lista dos mesmos, à semelhança dos retratados neste documento. É possível escolher um, ou vários efeitos locais, sendo depois possível navegar por aqueles que estão activados no grupo “*Análise de efeitos locais*”.

Tipo de análise

☐ Cobertura e efeitos globais
☒ Efeitos locais

☒ Cobertura com platibanda e/ou outros obstáculos \*
☒ Coberturas muito próximas de construções mais altas \*
☐ Alpendre
☐ Neve saliente da cobertura
☐ Carga da neve em guarda-neves e outros obstáculos \*

Análise de efeitos locais

☐ Deslocamento da neve junto a saliências e obstáculos
☒ Coberturas muito próximas de construções mais altas

Coefficiente de forma na presença de obstáculos

Obstáculo

Platibanda

$\mu_1$

$\mu_2$

Coefficiente de forma em construções mais altas

$\mu_1$

$\mu_2$

Deslocamento excepcional em coberturas muito próximas de construções mais altas

Ângulo de inclinação da vertente elevada  $\alpha$  (°):

$b_1$  (m):

$b_2$  (m):

$h$  (m):

$l_s$  (m):

Figura 102. Efeitos locais.

Caso a presença de platibanda ou obstáculo esteja ativa, para as coberturas de uma ou duas vertentes o coeficiente de forma da cobertura será automaticamente atribuído, assumindo o valor de 0,8. É possível no entanto alterar manualmente esse valor, pois a norma apenas especifica esse valor como mínimo recomendado.

**Tipo de análise**  
☒ Cobertura e efeitos globais ☐ Efeitos locais

**Tipo de cobertura**  
☐ Coberturas de uma vertente  
☒ Coberturas de duas vertentes  
☐ Coberturas múltiplas de duas vertentes

**Coeficientes de forma**  
 Vert.  $\alpha_1$  Vert.  $\alpha_2$   
 $\mu_1$  0.8 0.8

**Coberturas de duas vertentes**  
 Ângulo de inclinação da vertente  $\alpha_1$  (°): 15  
 Ângulo de inclinação da vertente  $\alpha_2$  (°): 40  
 Cobertura com presença de obstáculos!  
 Deve editar o valor de  $\mu_1$  e  $\mu_2$  manualmente.  
 (O mínimo recomendado é 0.8).

Caso (i)  $\mu_1(\alpha_1)$   $\mu_1(\alpha_2)$   
 Caso (ii)  $0,5\mu_1(\alpha_1)$   $\mu_1(\alpha_2)$   
 Caso (iii)  $\mu_1(\alpha_1)$   $0,5\mu_1(\alpha_2)$

Diagrama de uma cobertura de duas vertentes com ângulos  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$ .

Figura 103. Edição manual do coeficiente de forma na presença de obstáculos.

#### 4.6.4. Resultados

Após preencher todos os elementos é possível consultar quais os valores de quantificação da neve e os casos que serão tidos em conta nas combinações através do botão “Consultar casos de neve”.

Casos Neve						
	Situação	Caso	P1	P2	P3	Código de Caso
►	Persistente	i	$\mu_1(\alpha_1)$	$\mu_1(\alpha_2)$		S1
			0.24	0.24		
		ii	$0,5\mu_1(\alpha_1)$	$\mu_1(\alpha_2)$		S2
			0.120	0.24		
		iii	$\mu_1(\alpha_1)$	$0,5\mu_1(\alpha_2)$		S3
			0.24	0.120		
		Obstaculo	$\mu_1$	$\mu_2$		
			1.5	1.5		
		Prox. mais altas	$\mu_1$	$\mu_2$		
			0.20000001	0.6		
*						

Figura 104. Tabela de resultados da neve.

Os valores apresentados correspondem não ao coeficiente de forma, mas sim ao resultado da expressão indicada pela norma para a situação de projeto persistente/transitória.

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (18)$$

Ou seja, os valores apresentados têm em conta o coeficiente térmico, a situação topográfica e a carga de neve ao nível do solo. O indicador  $\mu_i$  surge na tabela apenas para facilidade de interpretação de acordo com as figuras apresentadas na norma. Com vista esclarecer esta característica do programa, é emitida uma mensagem de aviso ao consultar os casos de neve.

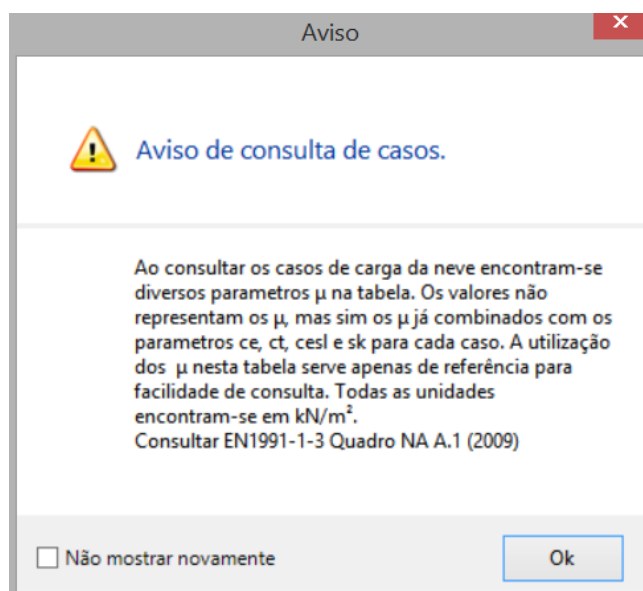


Figura 105. Aviso de leitura de casos da neve.

Caso a presença de platibanda ou obstáculo esteja ativa é necessário ter pelo menos o obstáculo ou a platibanda corretamente definidos, caso contrário o programa emitirá uma mensagem de aviso com vista à correção dessa situação.

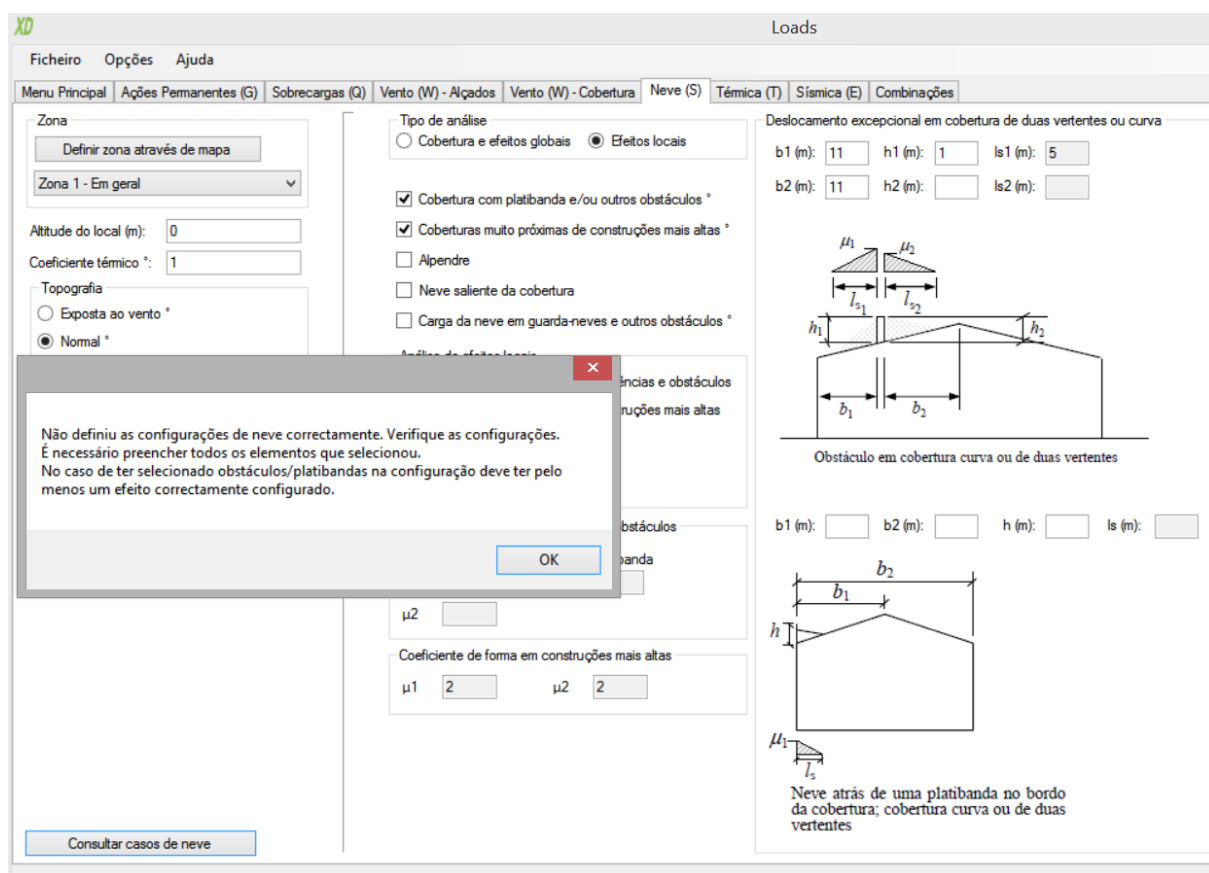


Figura 106. Aviso de efeito local relativo a obstáculo incorretamente definido.

## 4.8. Térmica

### 4.6.5. Funcionalidades

O programa apresenta as ações térmicas na aba “*Térmica (T)*”. Na mesma, podemos facilmente indicar qual o zonamento de Inverno ou de Verão, quer através da lista de zonas, quer através de um mapa em escala de cinzas que inclui os arquipélagos dos Açores e Madeira.

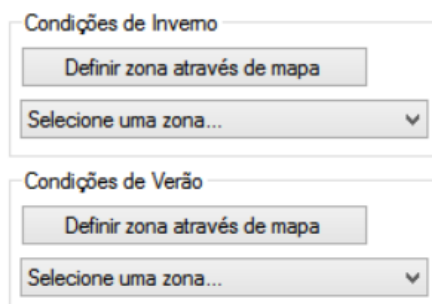


Figura 107. Definição de zonas sazonais.

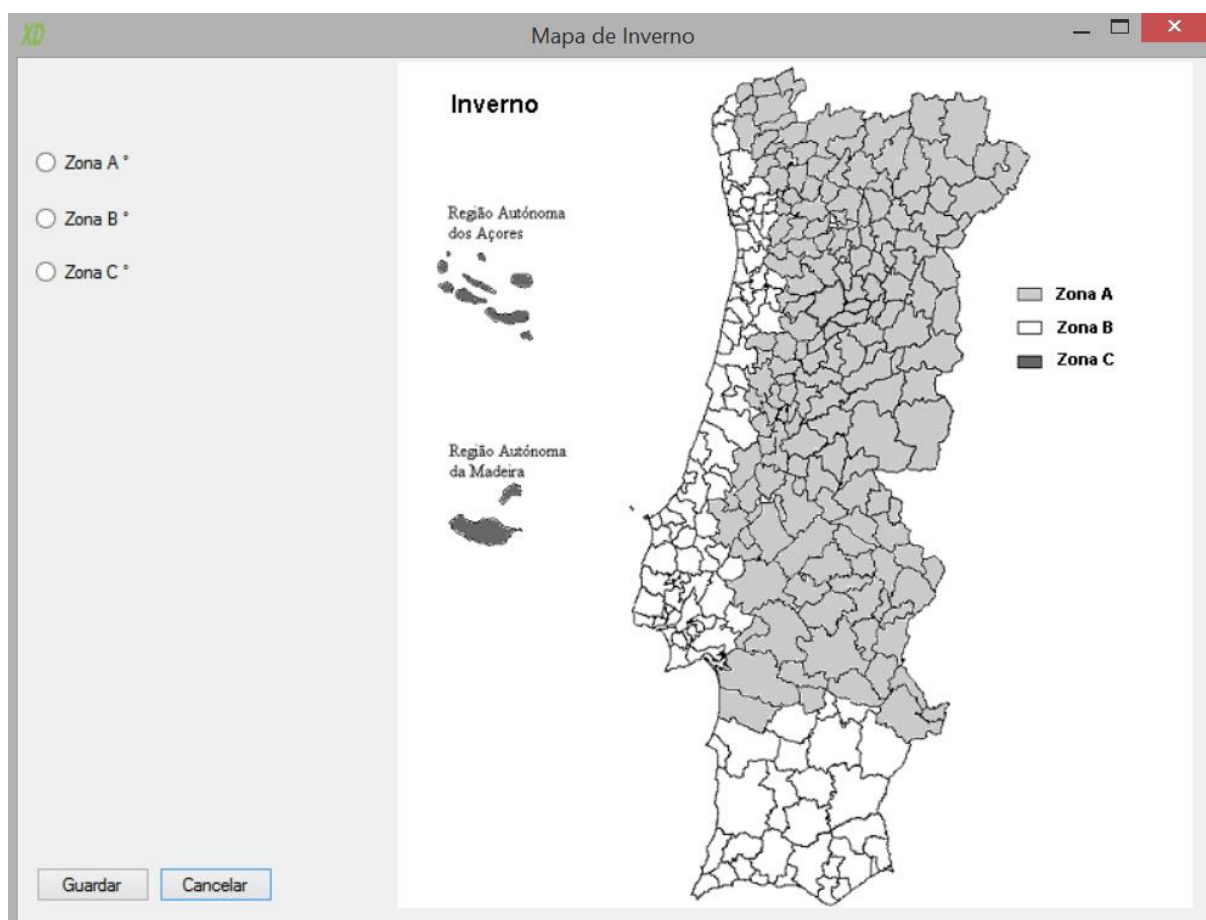


Figura 108. Definição de zona sazonal em período de Inverno.

É possível também definir qual a temperatura inicial  $T_0$  bem como a altitude, que serve para efeitos de correção de  $T_{max}$  e  $T_{min}$ . Por defeito, o programa apresenta o valor de 15°C para  $T_0$ .

$T_0$  (°C):

Altitude (m):

Figura 109. Definição de  $T_0$  e altitude.

Apresentam-se ainda a possibilidade de escolher a tonalidade da superfície, bem como a consideração da orientação de zonas acima do solo, ou zonas enterradas. Estes complementos permitem juntamente com  $T_{max}$  e  $T_{min}$  a correta determinação de  $T_{out}$ . A linguagem de programação c# por defeito considera os valores de ângulos em radianos, foi no entanto realizada uma conversão que permite a introdução de valores em graus (°).



Cor da superfície \*

☒ Superfície clara brilhante

☐ Superfície de cor clara

☐ Superfície escura

☐ Considerar orientação (°) \*

☐ Zona de edifício enterrada (m) \*

Figura 110. Elementos para a determinação de  $T_{out}$ .

#### 4.6.6. Resultados

Os resultados apresentados consistem apenas na utilização de aritmética para a determinação da variação uniforme de temperatura de acordo com as opções do utilizador.

Resultado		
	Verão	Inverno
Temperatura média dos elementos (°C):	35	6.5
Variação uniforme de temperatura (°C):	20	-8.5

Figura 111. Apresentação de resultados relativa à ação térmica para zonas A em ambos os períodos e superfície clara brilhante.

## 4.9. Sísmica

#### 4.6.7. Funcionalidades

O programa apresenta a ação sísmica na aba “*Sísmica (S)*”. Na mesma encontramos uma listagem dos concelhos de acordo com o anexo nacional encontrado na norma e presente também em anexo neste documento. Os concelhos são apresentados por ordem alfabética incluindo no final os arquipélagos dos Açores e Madeira.

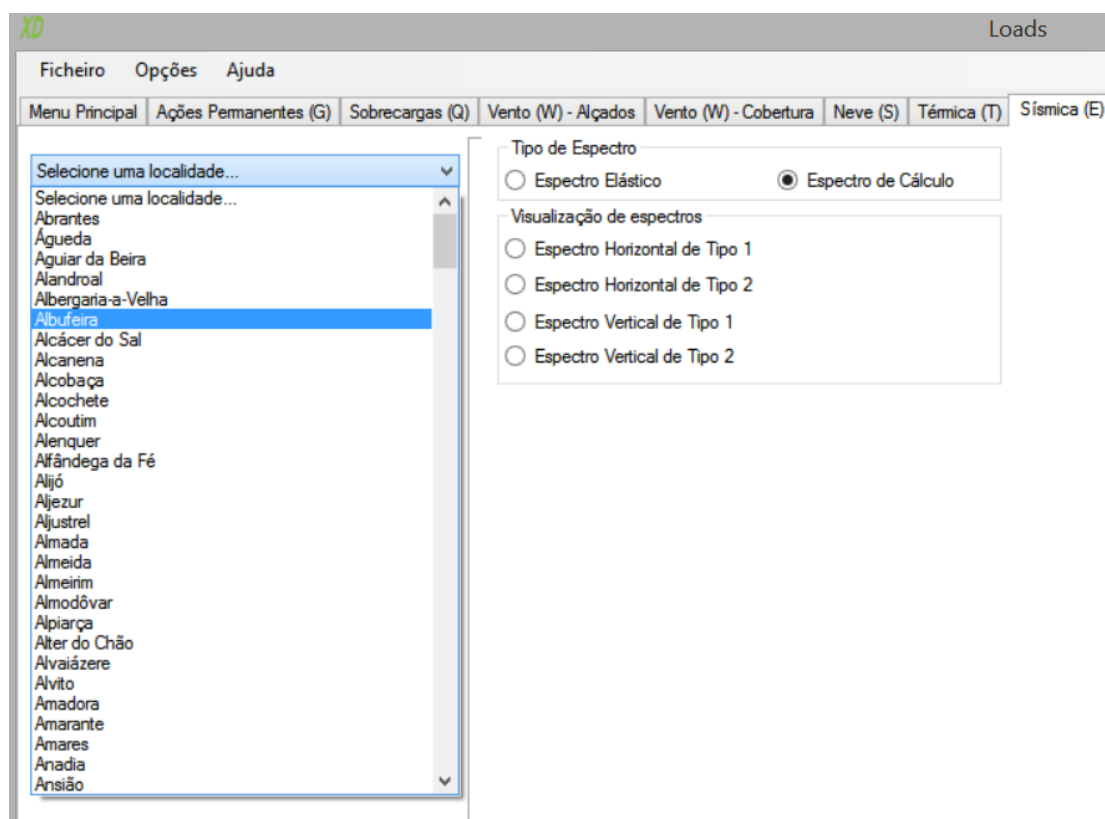


Figura 112. Lista de concelhos de acordo com o zonamento sísmico.

Ao selecionar um concelho, são apresentados os parâmetros utilizados para a determinação dos espectros, de acordo com a classe de importância do edifício, tipo de terreno selecionados, amortecimento viscoso (em percentagem) e coeficiente de comportamento. Realça-se a presença de indicadores que revelam quais as classes de importância e tipos de terreno especificados na norma ao pousar o rato na opção.

Aveiro

Código 0105

Dados sísmicos

	Zona	AgR	Ag	S
Tipo 1	1.6	0.35	0.2275	1
Tipo 2	2.4	1.1	0.825	1

Classe de importância do edifício

☒ I\* ☐ II\* ☐ III\* ☐ IV\*

Tipo de terreno

☒ A\* ☐ B\* ☐ C\* ☐ D\* ☐ E\*

$\xi$  5  $q$  1

$\eta$  1

Figura 113. Dados sísmicos.

Classe de importância do edifício

☒ I\* ☐ II\* ☐ III\* ☐ IV\*

Classe I  
Edifícios de importância menor para a segurança pública, como por exemplo edifícios agrícolas, etc..  
Consultar EN1998-1 Quadro 4.3 (2009).

Figura 114. Indicação de classe de importância do edifício.

Ao mesmo tempo, apresentam-se os vários espectros existentes para o concelho selecionado, sendo possível selecionar o espectro apresentado no grupo “*Visualização de espectros*” e alternar entre espectros elásticos ou de cálculo no grupo “*Tipo de Espectro*”.

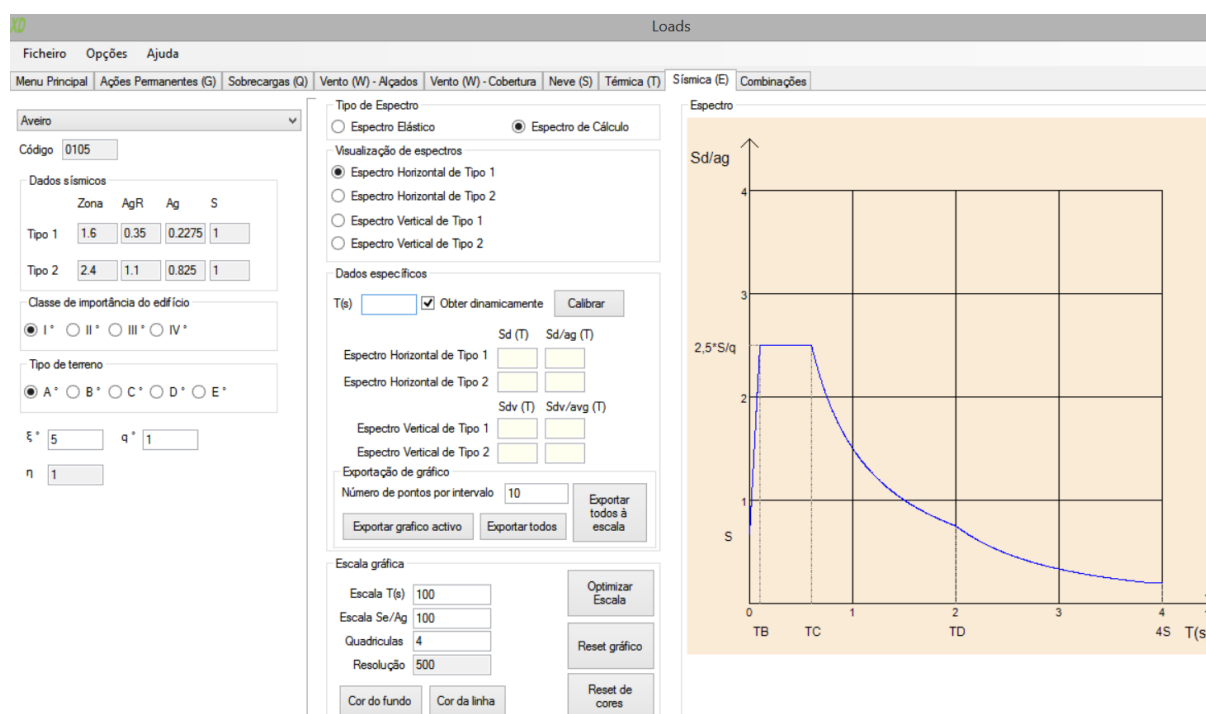


Figura 115. Apresentação de espectros.

#### 4.6.8. Resultados

Relativamente à análise dos espectros sísmicos é possível obter os valores de  $S_e$  e  $S_e/a_g$  no caso o tipo de espectro selecionado seja elástico, ou os valores de  $S_d$  e  $S_d/a_g$  caso o tipo de espectro selecionado seja o de cálculo. Para isto basta introduzir diretamente o período vibração  $T(s)$ .

Dados específicos

T(s)  ☒ Obter dinamicamente

	Se (T)	Se/ag (T)
Espectro Horizontal de Tipo 1	<input type="text" value="0.3412"/>	<input type="text" value="1.5"/>
Espectro Horizontal de Tipo 2	<input type="text" value="0.5156"/>	<input type="text" value="0.625"/>
	Sve (T)	Sve/avg (T)
Espectro Vertical de Tipo 1	<input type="text" value="0.1279"/>	<input type="text" value="0.75"/>
Espectro Vertical de Tipo 2	<input type="text" value="0.3526"/>	<input type="text" value="0.45"/>

Exportação de gráfico

Número de pontos por intervalo

Figura 116. Dados de espectro elástico.

Dados específicos

T(s)  ☒ Obter dinamicamente

	Sd (T)	Sd/ag (T)
Espectro Horizontal de Tipo 1	<input type="text" value="0.3412"/>	<input type="text" value="1.5"/>
Espectro Horizontal de Tipo 2	<input type="text" value="0.5156"/>	<input type="text" value="0.625"/>
	Sdv (T)	Sdv/avg (T)
Espectro Vertical de Tipo 1	<input type="text" value="0.1066"/>	<input type="text" value="0.625"/>
Espectro Vertical de Tipo 2	<input type="text" value="0.2939"/>	<input type="text" value="0.375"/>

Exportação de gráfico

Número de pontos por intervalo

Figura 117. Dados de espectro de cálculo.

É possível também utilizar o método dinâmico, que após efectuada a calibração permite identificar graficamente o período de vibração  $T(s)$  simplesmente ao clicar na função do espectro com o rato. Este modo apresenta diretamente os valores no grupo “*Dados específicos*” sem ter de recorrer à caixa de texto. O valor da calibração será mantido cada vez que executar o programa. É possível no entanto re-calibrar em qualquer momento através da opção “*Calibrar*”.

Outro modo de apresentação dos resultados é a exportação de dados. A opção “*Exportar gráfico activo*” cria um numero de pontos semelhante ao valor indicado em “*Número de pontos por intervalo*” entre cada troço do espectro, ou seja entre o intervalo 0,  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$  e  $4S$ . Posteriormente atribui a cada ponto criado um os valores do espectro que está a

ser visualizado, exportando esses dados em formato “.csv” ou “.xls”, que são possíveis de ler e editar em “Excel”.

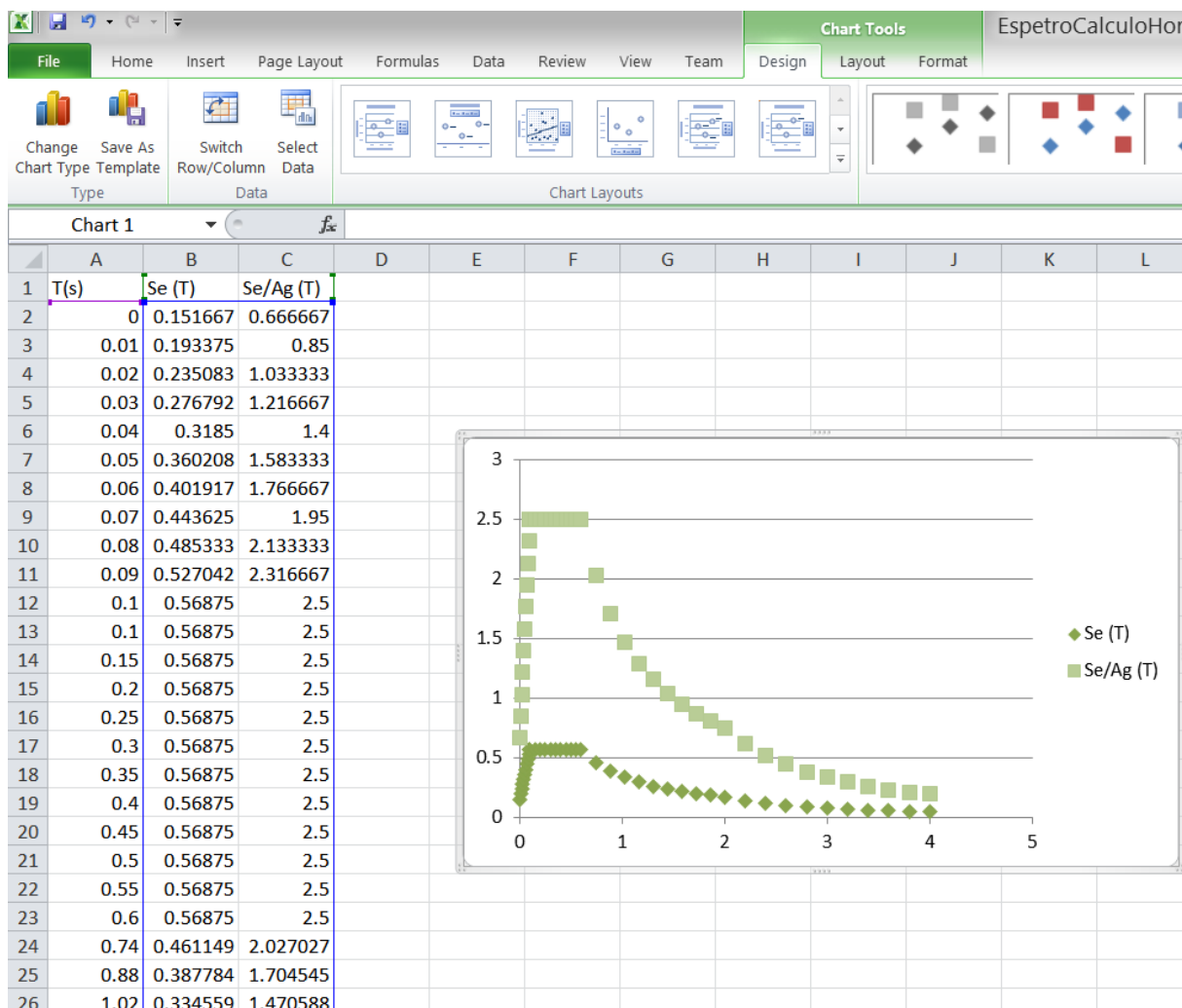


Figura 118. Exportação de espectro por intervalo de pontos.

Por sua vez a opção “Exportar todos”, exporta no mesmo ficheiro os quatro gráficos de acordo com o tipo de espectro selecionado. A opção “Exportar todos à escala” ao invés de criar um número de pontos definido pelo utilizador para cada troço, cria cem pontos entre 0 e  $4S$ , e exporta todos esses pontos e os respetivos valores para cada um dos gráficos do tipo de espectro selecionado.

É também possível alterar a escala do gráfico, as cores do fundo e da linha do espectro e modificar o numero de quadrículas apresentadas no grupo “Opções gráficas”. As opções “Optimizar Escala” e “Reset gráfico” optimizam a escala para o gráfico de maiores dimensões caso este ultrapasse os limites do desenho, e revertem as escalas originais respetivamente.

Opções gráficas

Escala T(s)	<input type="text" value="100"/>	Optimizar Escala
Escala Se/Ag	<input type="text" value="100"/>	
Quadriculas	<input type="text" value="4"/>	Reset gráfico
Resolução	<input type="text" value="500"/>	
Cor do fundo	Cor da linha	Reset de cores

Figura 119. Opções gráficas.

## 5. EXEMPLO PRÁTICO

Suponha-se um edifício com características similares ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. O mesmo terá  $20 \times 80 \text{ m}^2$  de superfície, uma altura de cerca 15 metros, situado a 6km da costa e a uma altitude de cerca de 10 metros em relação ao nível do mar com cobertura em terraço. Considere-se a ação do vento, neve, variação térmica e sísmica, e uma cobertura de duas vertentes com inclinação de  $8^\circ$  de modo a possibilitar um cálculo mais desenvolvido que o obtido com cobertura em terraço.

### 5.1. Vento

De acordo com as características do edifício encontramos-nos numa Zona A e numa categoria de terreno III, ou seja, com uma cobertura regular de edifícios.

O formulário apresenta duas secções de seleção por rádio-botões. A primeira secção, intitulada 'Zona', contém duas opções: 'Zona A \*' (selecionada) e 'Zona B \*'. A segunda secção, intitulada 'Categoria de terreno', contém quatro opções: 'I - Zona costeira exposta aos ventos de mar.', 'II - Zona de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados (árvores, edifícios) com separações entre si de, pelo menos, 20 vezes a sua altura.', 'III - Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si, de no máximo, 20 vezes a sua altura (zonas suburbanas, florestas permanentes).', e 'IV - Zona na qual pelo menos 15% da superfície está coberta por edifícios com uma altura média superior a 15 m.' A opção III está selecionada.

Zona

☒ Zona A \*

☐ Zona B \*

Categoria de terreno

☐ I - Zona costeira exposta aos ventos de mar.

☐ II - Zona de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados (árvores, edifícios) com separações entre si de, pelo menos, 20 vezes a sua altura.

☒ III - Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si, de no máximo, 20 vezes a sua altura (zonas suburbanas, florestas permanentes).

☐ IV - Zona na qual pelo menos 15% da superfície está coberta por edifícios com uma altura média superior a 15 m.

Figura 120. Zona e categoria de terreno em exemplo de aplicação.

Apresenta-se a planta do edifício, bem como a situação dos alçados laterais (Figuras 121 e 122).

**Situação**

☒ Dimensões gerais

☐ Pressão dinâmica na direção X (face de Y)

☐ Pressão dinâmica na direção Y (face de X)

☐ Ações do vento na direção X

☐ Ações do vento na direção Y

**Pressão dinâmica na direção X**

Ze

qp(z) 0.9023

**Pressão dinâmica na direção Y**

Ze

qp(z) 0.9023

**Ações do vento na direção X**

h/d 0.75

	A	B	D	E
Cpe,10	-1.2	-0.8	0.7666	-0.4333
Cpe,1	-1.4	-1.1	1	-0.4333

**Ações do vento na direção Y**

h/d 0.1875

	A	B	C	D	E
Cpe,10	-1.2	-0.8	-0.5	0.7	-0.3
Cpe,1	-1.4	-1.1	-0.5	1	-0.3

**Dimensões gerais**

x (m): 20    Altura (m): 15

y (m): 80

**Planta**

Figura 121. Dimensões gerais.

**Situação**

☐ Dimensões gerais

☐ Pressão dinâmica na direção X (face de Y)

☐ Pressão dinâmica na direção Y (face de X)

☒ Ações do vento na direção X

☐ Ações do vento na direção Y

**Pressão dinâmica na direção X**

Ze

qp(z) 0.9023

**Pressão dinâmica na direção Y**

Ze

qp(z) 0.9023

**Ações do vento na direção X**

h/d 0.75

	A	B	D	E
Cpe,10	-1.2	-0.8	0.7666	-0.4333
Cpe,1	-1.4	-1.1	1	-0.4333

**Ações do vento na direção Y**

h/d 0.1875

	A	B	C	D	E
Cpe,10	-1.2	-0.8	-0.5	0.7	-0.3
Cpe,1	-1.4	-1.1	-0.5	1	-0.3

**Ações do vento na direção X**

**Planta**

**Alçado**

d (m) 20    e/5 (m) 6

d-e/5 (m) 14

**Planta**

**Alçado**

d (m) 20    e/5 (m) 6

d-e/5 (m) 14

Figura 122. Alçados laterais com o vento na direção X.



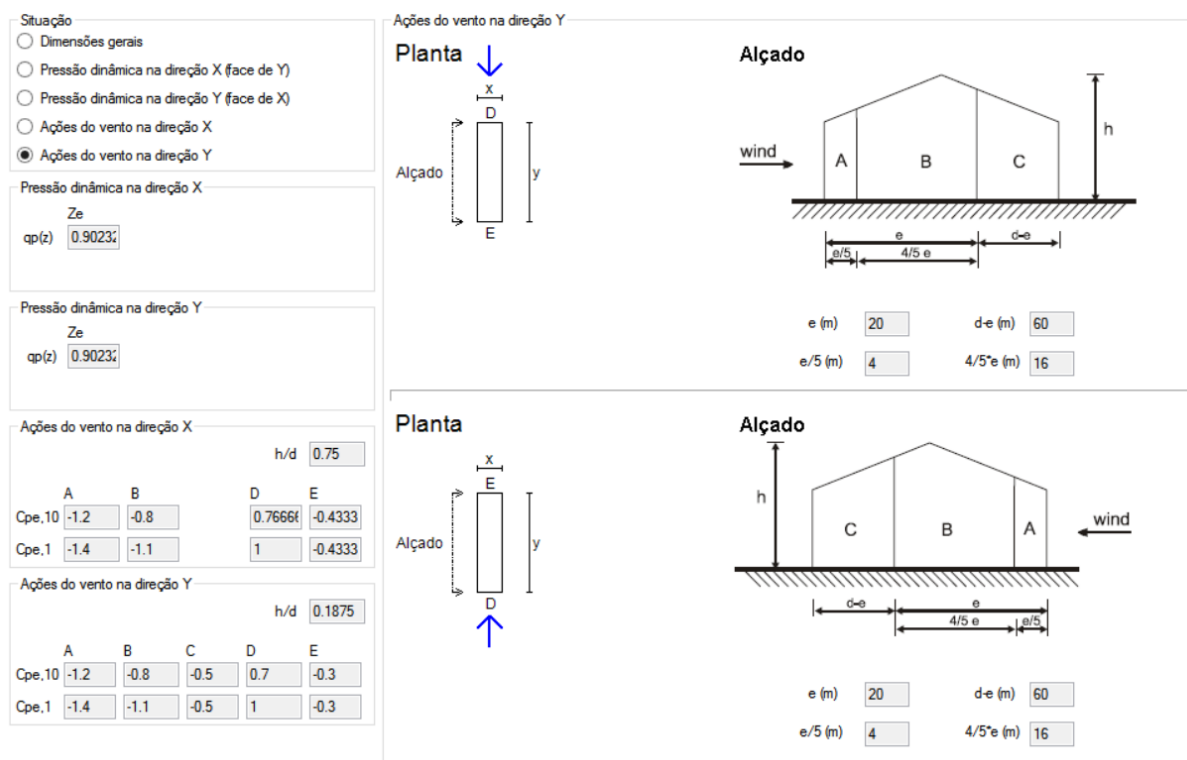


Figura 123. Alçados laterais com vento na direção Y.

E apresentam-se também as pressões nas faces para as duas orientações  $0^\circ$  e  $90^\circ$  (Figuras 124 e 125), correspondendo estas a X e Y respectivamente. As restantes orientações são similares visto considerarmos o coeficiente de pressão de +0,2, não sendo este variável conforme a orientação.

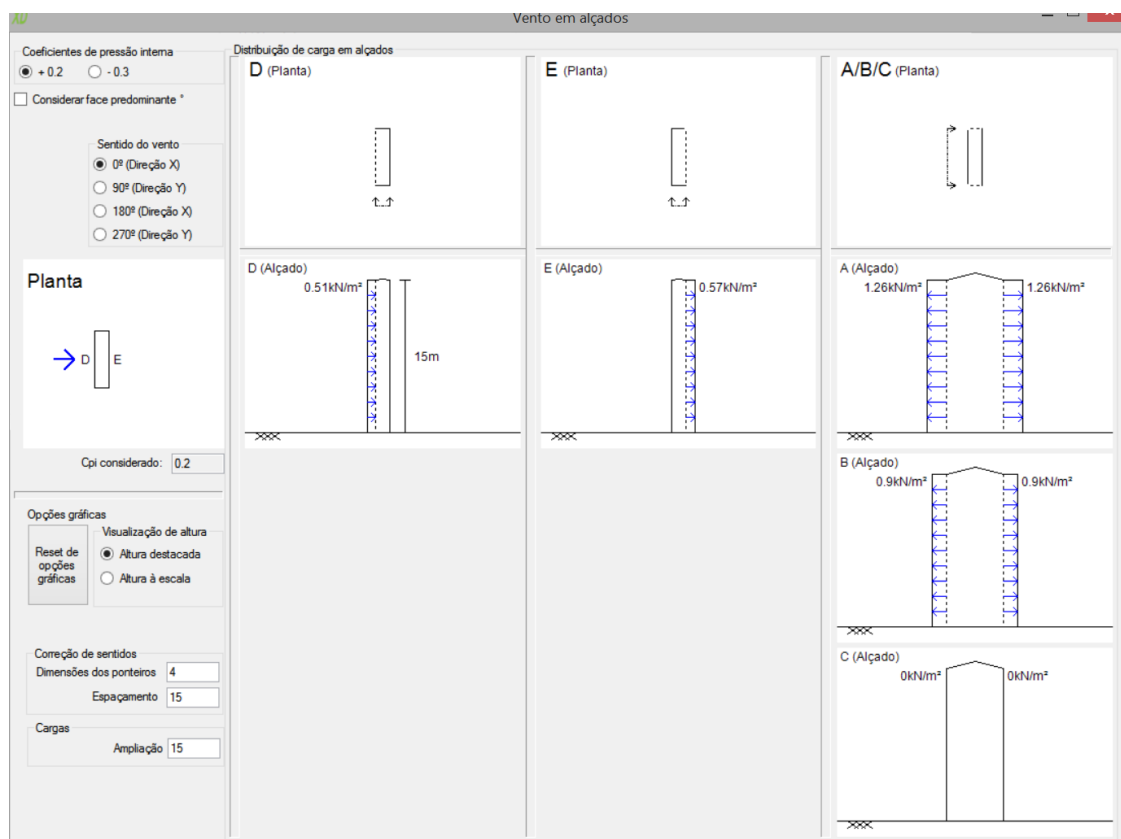


Figura 124. Pressão nas faces na orientação X.

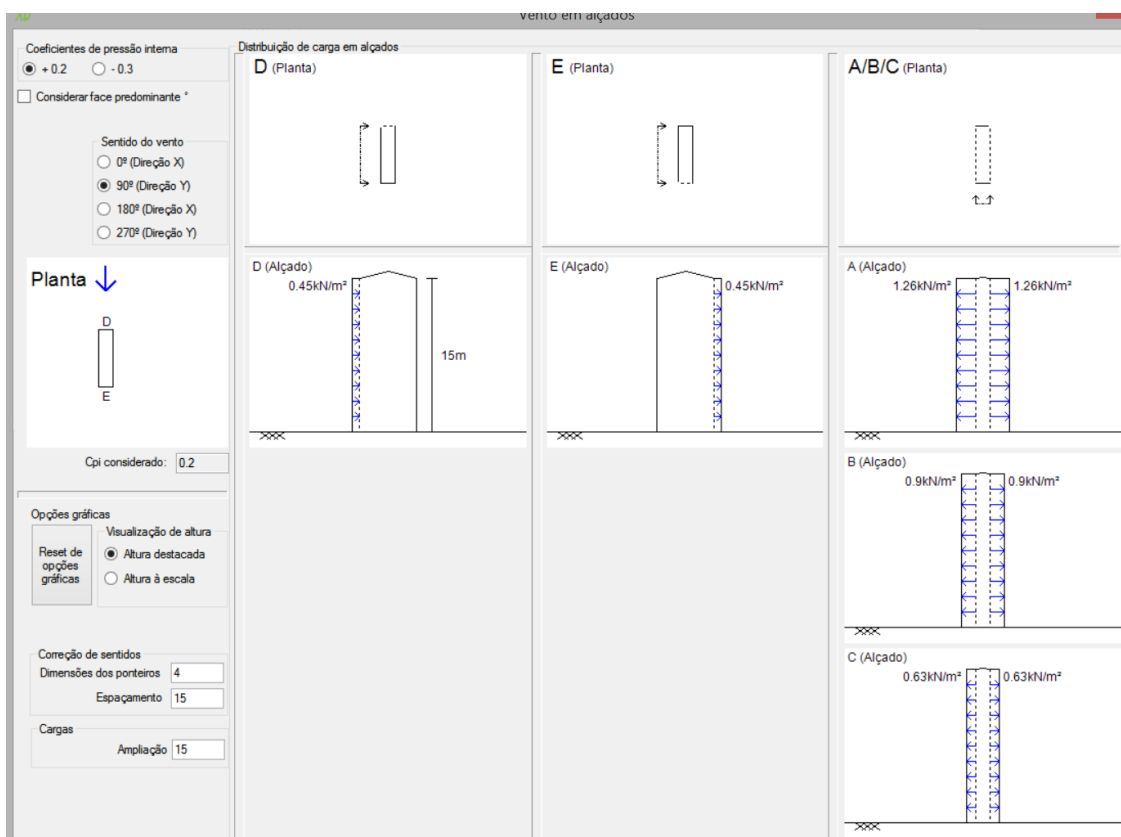


Figura 125. Pressão nas faces na orientação Y.

Relativamente às coberturas o programa atribui as seguintes pressões (Figuras 126 e 127) distribuídos pelas respetivas zonas.

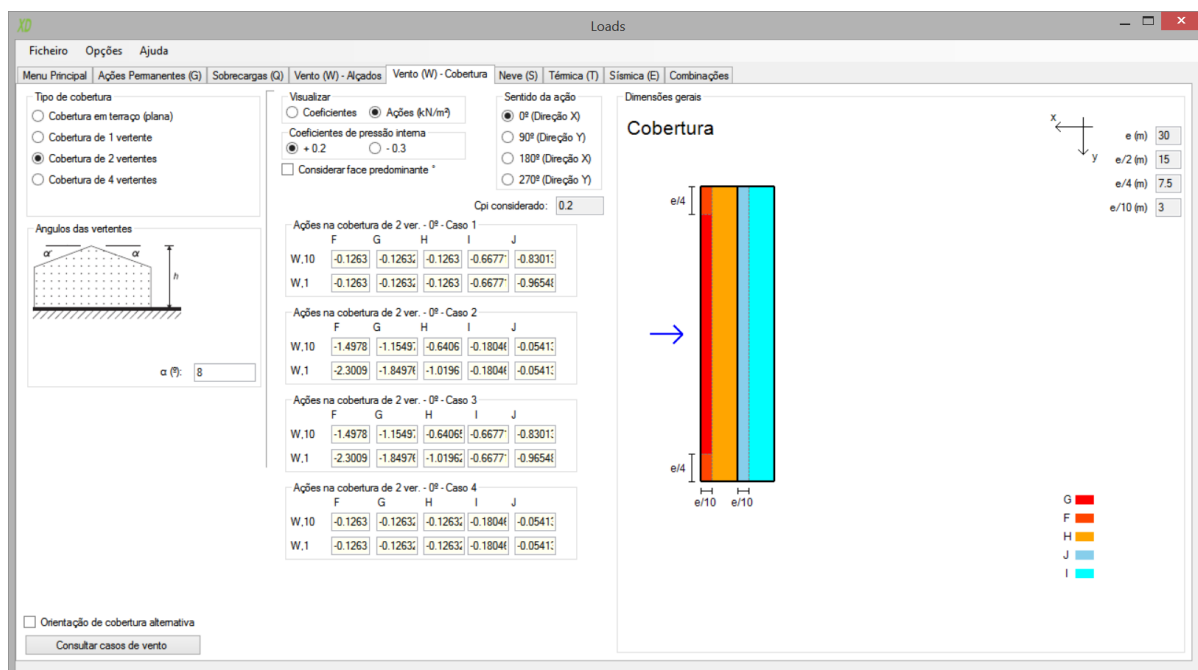


Figura 126. Pressões na cobertura para a orientação X.

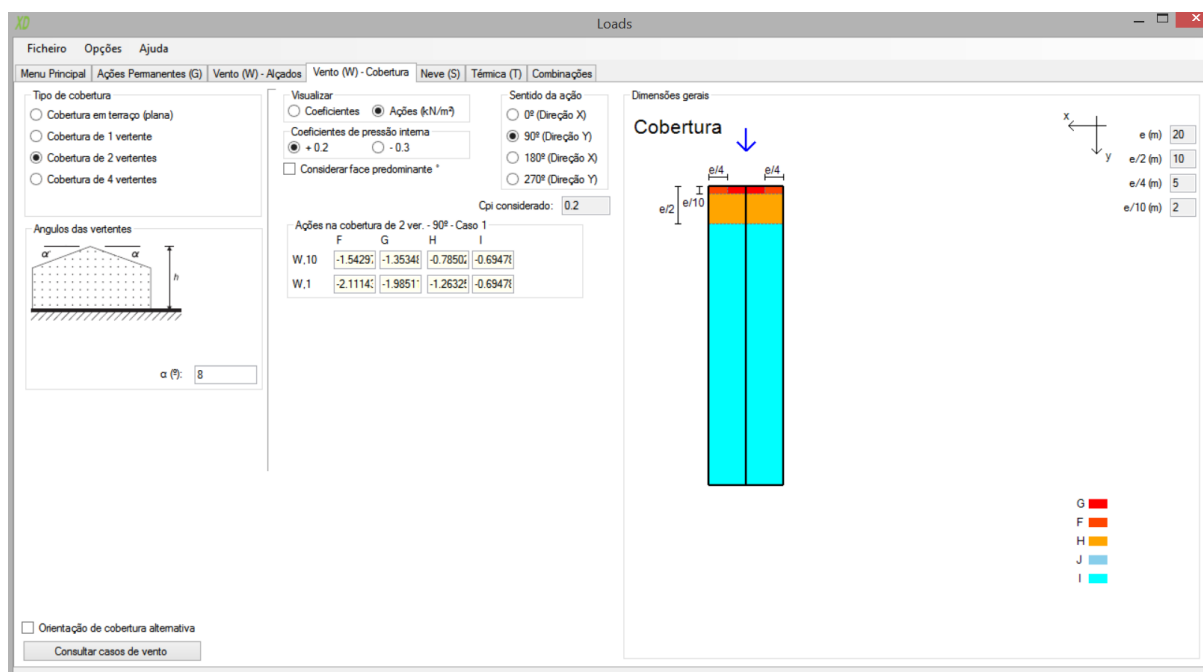
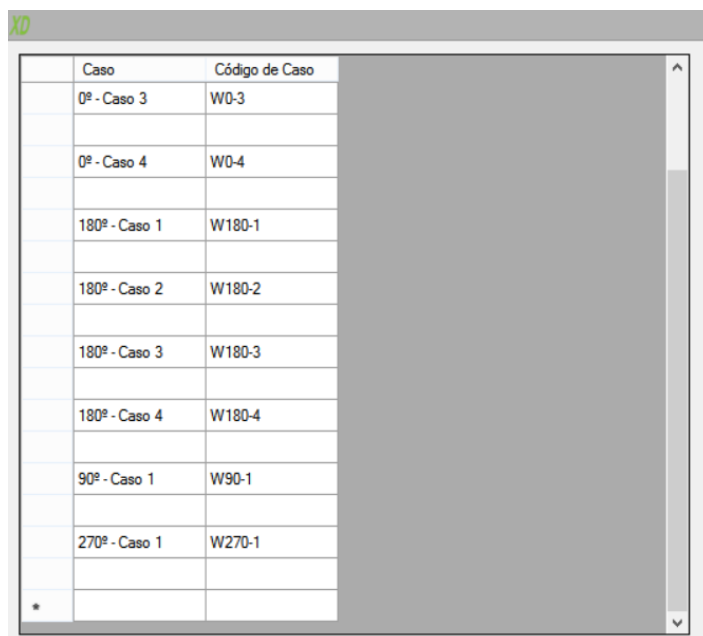


Figura 127. Pressões na cobertura para a orientação Y.

São também apresentados os casos a considerar na Figura 128.

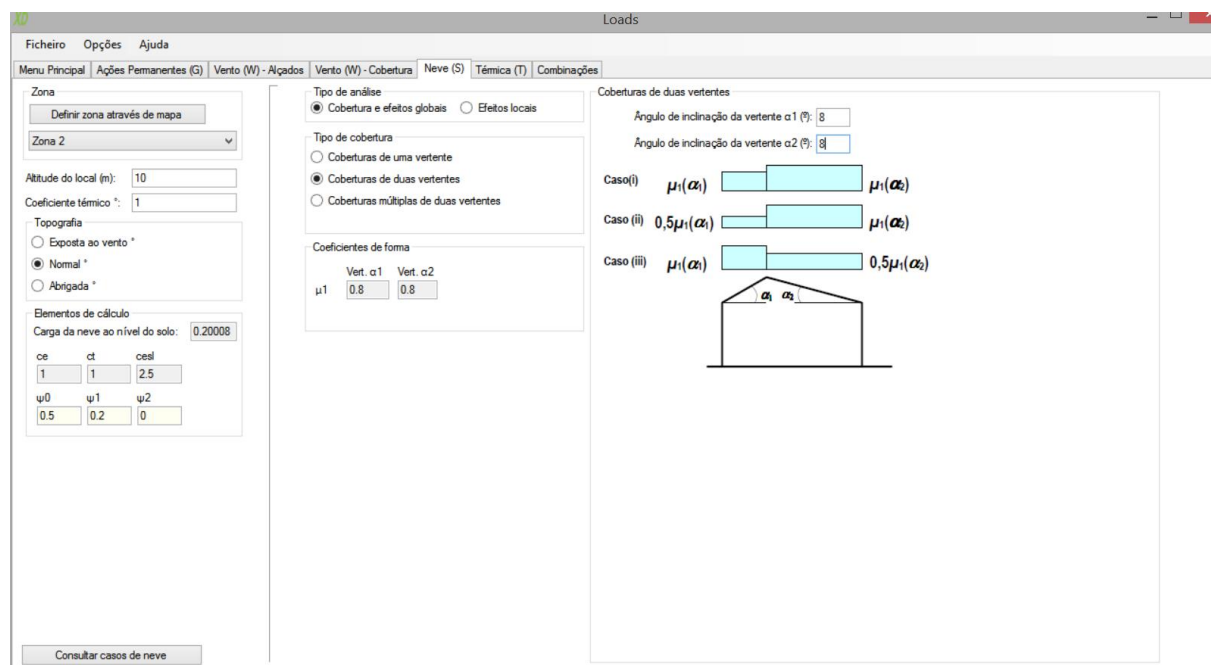


Caso	Código de Caso
0º - Caso 3	W0-3
0º - Caso 4	W0-4
180º - Caso 1	W180-1
180º - Caso 2	W180-2
180º - Caso 3	W180-3
180º - Caso 4	W180-4
90º - Caso 1	W90-1
270º - Caso 1	W270-1

Figura 128. Casos a considerar na ação do vento.

## 5.2. Neve

Relativamente à neve é apenas necessário definir a Zona 2, a altitude, a topografia do terreno e os ângulos das vertentes para a cobertura, obtendo assim a representação na Figura 129.



**Neve**

**Zona**  
 Definir zona através de mapa  
 Zona 2

Altitude do local (m): 10  
 Coeficiente térmico \*: 1

**Topografia**  
☐ Exposta ao vento \*  
☒ Normal \*  
☐ Abrigada \*

**Elementos de cálculo**  
 Carga da neve ao nível do solo: 0.20008

**Tipo de análise**  
☒ Cobertura e efeitos globais ☐ Efeitos locais

**Tipo de cobertura**  
☐ Coberturas de uma vertente  
☒ Coberturas de duas vertentes  
☐ Coberturas múltiplas de duas vertentes

**Coefficientes de forma**  
 Vert.  $\alpha_1$  Vert.  $\alpha_2$   
 $\mu_1$  0.8 0.8

**Coberturas de duas vertentes**  
 Ângulo de inclinação da vertente  $\alpha_1$  (º): 8  
 Ângulo de inclinação da vertente  $\alpha_2$  (º): 8

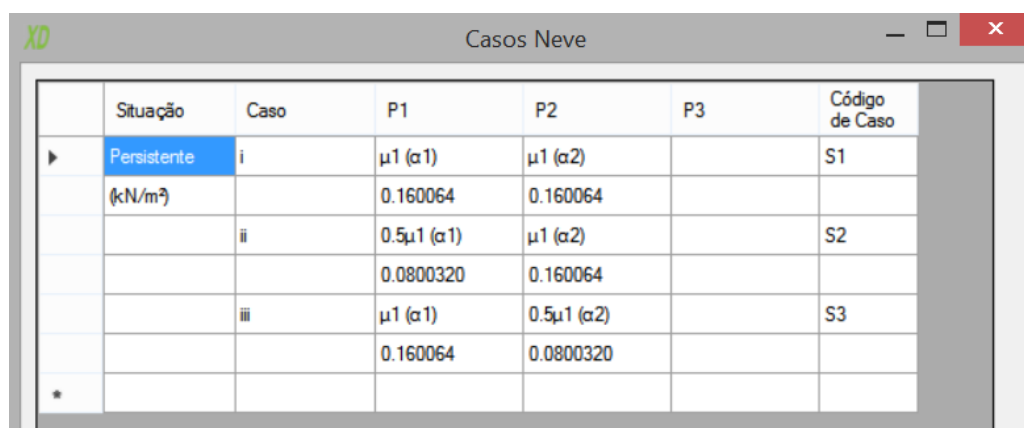
Caso (i)  $\mu_1(\alpha_1)$   $\mu_1(\alpha_2)$   
 Caso (ii)  $0,5\mu_1(\alpha_1)$   $\mu_1(\alpha_2)$   
 Caso (iii)  $\mu_1(\alpha_1)$   $0,5\mu_1(\alpha_2)$

Diagrama de uma cobertura de duas vertentes com ângulos  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$ .

Consultar casos de neve

Figura 129. Exemplo de aplicação da neve.

Resultando deste modo os seguintes casos (Figura 130).

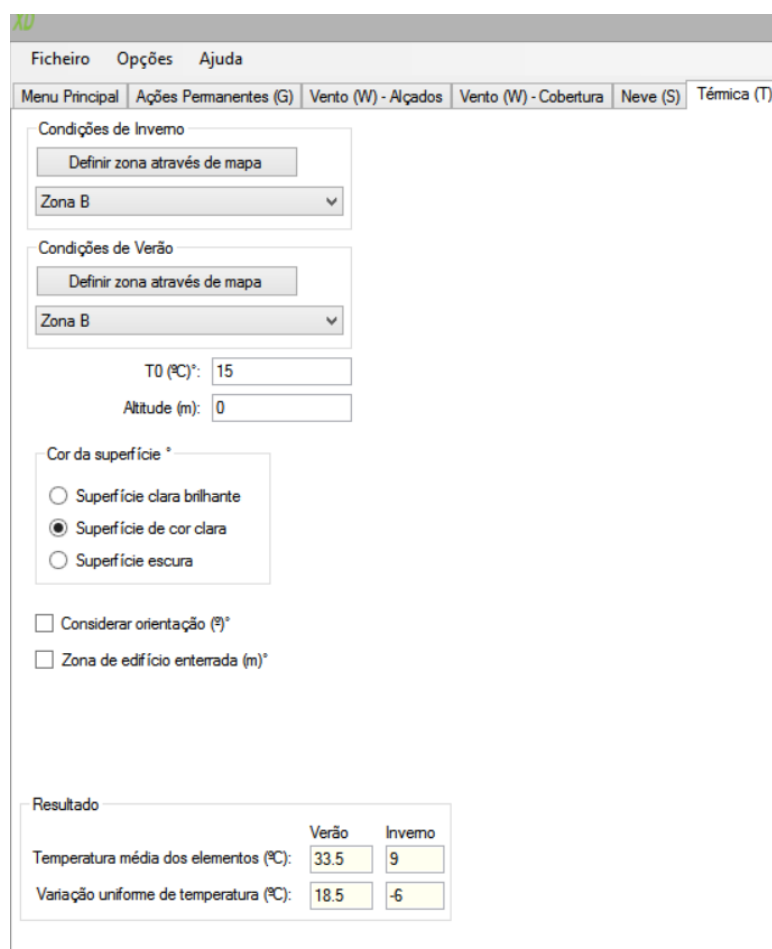


Situação	Caso	P1	P2	P3	Código de Caso
Persistente	i	$\mu_1 (\alpha_1)$	$\mu_1 (\alpha_2)$		S1
(kN/m <sup>2</sup> )		0.160064	0.160064		
	ii	$0.5\mu_1 (\alpha_1)$	$\mu_1 (\alpha_2)$		S2
		0.0800320	0.160064		
	iii	$\mu_1 (\alpha_1)$	$0.5\mu_1 (\alpha_2)$		S3
		0.160064	0.0800320		
*					

Figura 130. Casos a considerar na ação da neve.

### 5.3. Térmica

Relativamente à ação térmica basta considerar a Zona B para ambos os períodos e a superfície de cor clara.



Ficheiro Opções Ajuda

Menu Principal Ações Permanentes (G) Vento (W) - Alçados Vento (W) - Cobertura Neve (S) **Térmica (T)**

Condições de Inverno

Definir zona através de mapa

Zona B

Condições de Verão

Definir zona através de mapa

Zona B

T0 (°C): 15

Altitude (m): 0

Cor da superfície \*

☐ Superfície clara brilhante

☒ Superfície de cor clara

☐ Superfície escura

☐ Considerar orientação (°)\*

☐ Zona de edifício enterrada (m)\*

Resultado

	Verão	Inverno
Temperatura média dos elementos (°C):	33.5	9
Variação uniforme de temperatura (°C):	18.5	-6

Figura 131. Aplicação da ação térmica.

## 5.4. Sísmica

Relativamente à ação sísmica é necessário considerar a zona, a classe de importância e o tipo de terreno como se apresentam nas Figuras 132 e 133.

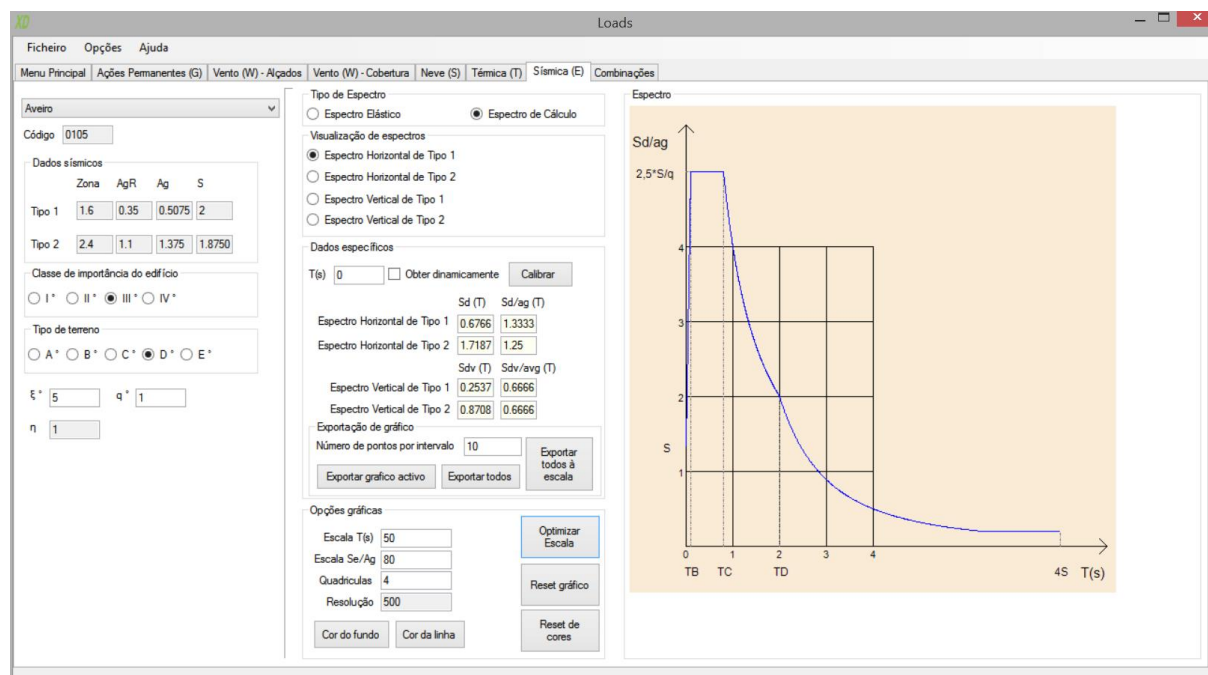


Figura 132. Exemplo de aplicação sísmica e espectro horizontal de tipo 1.

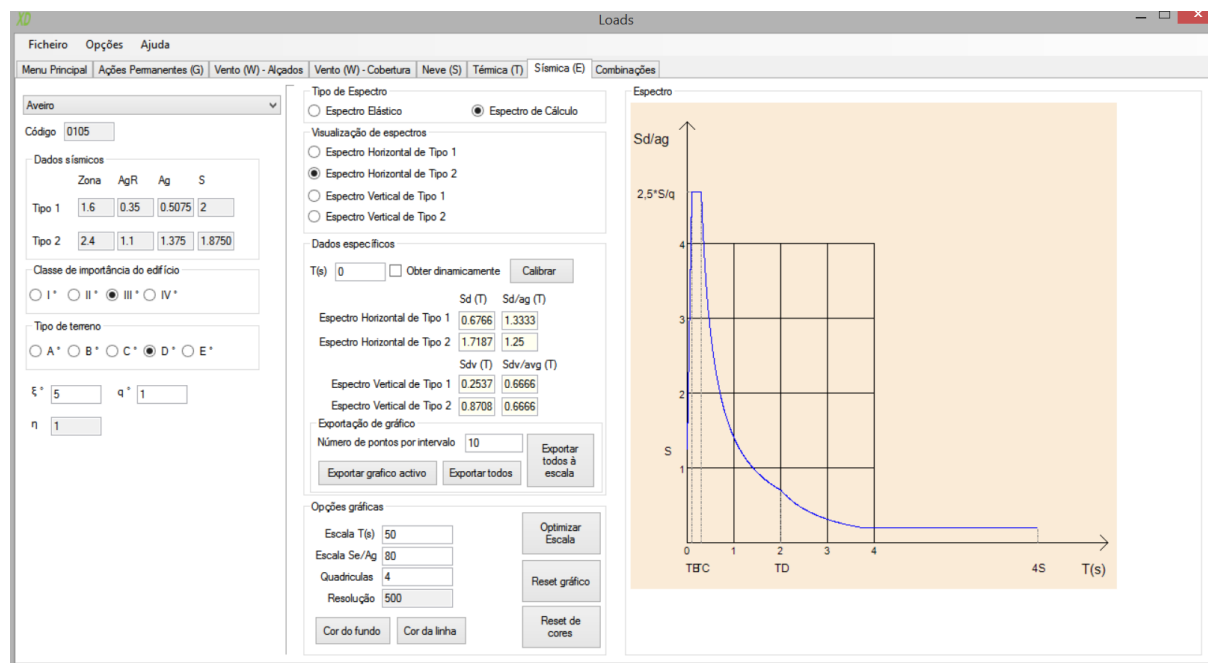


Figura 133. Espectro horizontal de tipo 2.

## 5.5. Combinações

Estamos assim em condições de analisar as combinações obtidas. Relativamente às combinações fundamentais apresentam-se setenta e duas (72) combinações a considerar que englobam as quatro orientações do vento, três casos de carga da neve e dois casos de carga resultantes da ação térmica.

Combinação	Expressão	G	W0	W90	W180
1	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot W0 + 0.75 \cdot S1 + 0.9 \cdot T1$	1.35	1.5		
2	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot W0 + 0.75 \cdot S1 + 0.9 \cdot T2$	1.35	1.5		
3	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot W0 + 0.75 \cdot S2 + 0.9 \cdot T1$	1.35	1.5		
4	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot W0 + 0.75 \cdot S2 + 0.9 \cdot T2$	1.35	1.5		
5	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot W0 + 0.75 \cdot S3 + 0.9 \cdot T1$	1.35	1.5		
6	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot W0 + 0.75 \cdot S3 + 0.9 \cdot T2$	1.35	1.5		
7	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot W90 + 0.75 \cdot S1 + 0.9 \cdot T1$	1.35		1.5	
8	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot W90 + 0.75 \cdot S1 + 0.9 \cdot T2$	1.35		1.5	
9	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot W90 + 0.75 \cdot S2 + 0.9 \cdot T1$	1.35		1.5	
10	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot W90 + 0.75 \cdot S2 + 0.9 \cdot T2$	1.35		1.5	
11	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot W90 + 0.75 \cdot S3 + 0.9 \cdot T1$	1.35		1.5	
12	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot W90 + 0.75 \cdot S3 + 0.9 \cdot T2$	1.35		1.5	
13	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot W180 + 0.75 \cdot S1 + 0.9 \cdot T1$	1.35			1.5
14	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot W180 + 0.75 \cdot S1 + 0.9 \cdot T2$	1.35			1.5
15	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot W180 + 0.75 \cdot S2 + 0.9 \cdot T1$	1.35			1.5

Q	W0	W90	W180	W270	S	T
W0	W90	W180	W270	S1	T1	
				S2	T2	
				S3		

Figura 134. Combinações resultantes de exemplo de aplicação.





## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1. Conclusões

Os objetivos propostos foram atingidos, revelando um programa de cálculo sólido e com uma grande variedade de utilizações finais, sendo possível não só a quantificação de ações, bem como a combinação dos vários casos de carga das mesmas. Além disso, a possibilidade de gravar e carregar resultados, a exportação de dados em vários formatos e a definição de tabelas de coeficientes de combinação independentes revelam uma flexibilidade preciosa.

A interface final apresenta-se intuitiva e simples, revelando complexidade apenas quando é necessário interpretar resultados, como por exemplo nas ações do vento. Ainda assim, o programa disponibiliza elementos gráficos detalhados com a função de facilitar a interpretação de resultados no limite do auxílio que um programa de cálculo pode fornecer.

Os resultados do cálculo foram copiosamente verificados através de cálculo manual e de folhas de cálculo em formato “*excel*”, pelo que se consideram validados dentro dos limites de utilização indicados pelo programa.

Sendo realizado em linguagem *C#*, a sua utilização é acessível à maioria dos computadores pessoais, visto ser compatível com ambiente *Windows*, revelando-se esta linguagem de programação uma mais valia no que toca à compatibilidade entre vários sistemas operativos.

### 6.2. Desenvolvimentos futuros

A realização deste trabalho demonstra que uma vez iniciada, a actividade de programação raramente encontra o seu fim visto existirem sempre melhorias e desenvolvimentos a considerar. Estando o programa de cálculo apto a efectuar as combinações de ações, um primeiro passo interessante no seu desenvolvimento seria a integração directa das combinações resultantes em programas de cálculo estrutural nomeadamente “*Sap2000*”. O mesmo será possível através de formatos de exportação de dados que o “*XD-Loads*” poderá fornecer.

A consideração de outros tipos de elementos sujeitos à ação do vento, bem como uma análise térmica mais detalhada poderão também ser úteis aos profissionais de engenharia em diversas situações. Igualmente útil seria também a consideração de situação de projeto accidental no programa de cálculo.

Outro desenvolvimento ambicioso seria a criação de uma ferramenta de cálculo estrutural compatível com os vários programas de cálculo da família “*CivilXD*”. O mesmo poderia utilizar uma interface gráfica 3D desenvolvida através de motores de videojogos gratuitos, como por exemplo o “*Microsoft XNA*” ou o “*Unity*”, realizando o cálculo matricial pórtico a pórtico através do método dos deslocamentos leccionado em disciplinas do âmbito do comportamento estrutural.

## REFERÊNCIAS

1. *Memória Justificativa - Decreto Lei nº 235/83 de 31-05-1983. Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes.* 1983.
2. **Varum, H.** Apontamentos da disciplina de Resistência dos Materiais. s.l. : Universidade de Aveiro.
3. Chapter 4 - Introduction to Limit States. s.l. : INSTITUTE FOR STEEL DEVELOPMENT & GROWTH.
4. **Figueiras, Joaquim.** Apontamentos da Disciplina de Estruturas de Betão 2 (2002) - Verificação aos estados limite de serviço. s.l. : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
5. **Mendes, Pedro.** Dimensionamento de Estruturas – Quantificação de ações em edifícios de acordo com o Eurocódigo 1. s.l. : Instituto Superior Técnico, 2011.
6. Apontamentos de Estruturas de Concreto (2012). s.l. : Departamento de Construção Civil da Universidade do Federal do Paraná.
7. **Jacinto, Luciano.** Dimensionamento sísmico de edifícios de betão segundo o EC8-1 . s.l. : Instituto Superior de Engenharia de Lisboa , 2014.
8. **Rocha, Telmo.** Apontamentos de iniciação à programação em c#. s.l. : UNAVE, 2013.
9. *NP EN 1990 (2009) Eurocódigo 0 - Bases para o projecto de estruturas.* Caparica : IPQ.
10. *NP EN 1991-1-1 (2009) Eurocódigo 1 - Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios.* Caparica : IPQ.
11. *NP EN 1991-1-3 (2009) Eurocódigo 1 - Ações da neve.* Caparica : IPQ.
12. *NP EN 1991-1-4 (2010) Eurocódigo 1 - Ações do vento.* Caparica : IPQ.
13. *NP EN 1991-1-5 (2009) Eurocódigo 1 - Ações térmicas.* Caparica : IPQ.

14. *NP EN 1998-1 (2010) Eurocódigo 8 - Projeto de estruturas para resistência aos sismos.*  
Caparica : IPQ.

15. Manual for the Design of Building Structures to Eurocode 1 and Basis of Structural Design. s.l. : Institution of Structural Engineers, 2010.

## ANEXO I – PESOS VOLÚMICOS

Tabela anexa 1. Materiais de construção - Betão e argamassa.

Materiais	Peso volúmico $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
<b>betão</b> (ver a EN 206) leve classe de massa volúmica LC 1,0 classe de massa volúmica LC 1,2 classe de massa volúmica LC 1,4 classe de massa volúmica LC 1,6 classe de massa volúmica LC 1,8 classe de massa volúmica LC 2,0 normal pesado <b>argamassa</b> de cimento de gesso bastarda de cal	  9,0 a 10,0 <sup>1)2)</sup> 10,0 a 12,0 <sup>1)2)</sup> 12,0 a 14,0 <sup>1)2)</sup> 14,0 a 16,0 <sup>1)2)</sup> 16,0 a 18,0 <sup>1)2)</sup> 18,0 a 20,0 <sup>1)2)</sup> 24,0 <sup>1)2)</sup> > <sup>1)2)</sup>  19,0 a 23,0 12,0 a 18,0 18,0 a 20,0 12,0 a 18,0
<sup>1)</sup> Aumentar de 1 kN/m <sup>3</sup> para percentagem normal de aço em betão armado e pré-esforçado. <sup>2)</sup> Aumentar de 1 kN/m <sup>3</sup> para betão fresco.	

Tabela anexa 2. Materiais de construção – Alvenaria.

Materiais	Peso volúmico $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
<b>unidades de alvenaria</b>	
tijolos cerâmicos	ver a EN 771-1
blocos sílico-calcáreos	ver a EN 771-2
blocos de betão de agregados (correntes ou leves)	ver a EN 771-3
blocos de betão celular autoclavado	ver a EN 771-4
blocos de pedra artificial	ver a EN 771-5
blocos de vidro furados	ver a EN 1051
terracota	21,0
pedras naturais (ver a EN 771-6)	
granito, sienito, pórfiro	27,0 a 30,0
basalto, diorito, gabro	27,0 a 31,0
taquilito	26,0
lava basáltica	24,0
grauvaque, arenito	21,0 a 27,0
calcário denso	20,0 a 29,0
outro calcário	20,0
tufo vulcânico	20,0
gnaisse	30,0
ardósia	28,0

Tabela anexa 3. Materiais de construção – Madeira.

Materiais	Peso volúmico $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
<b>madeira maciça</b> (ver a EN 338 para as classes de resistência)	
classe de resistência C14	3,5
classe de resistência C16	3,7
classe de resistência C18	3,8
classe de resistência C22	4,1
classe de resistência C24	4,2
classe de resistência C27	4,5
classe de resistência C30	4,6
classe de resistência C35	4,8
classe de resistência C40	5,0
classe de resistência D30	6,4
classe de resistência D35	6,7
classe de resistência D40	7,0
classe de resistência D50	7,8
classe de resistência D60	8,4
classe de resistência D70	10,8
<b>madeira lamelada colada</b> (ver a EN 1194 para as classes de resistência)	
lamelada colada homogénea GL24h	3,7
lamelada colada homogénea GL28h	4,0
lamelada colada homogénea GL32h	4,2
lamelada colada homogénea GL36h	4,4
lamelada colada combinada GL24c	3,5
lamelada colada combinada GL28c	3,7
lamelada colada combinada GL32c	4,0
lamelada colada combinada GL36c	4,2
<b>contraplacado</b>	
de resinosas	5,0
de bétula	7,0
de painéis lamelados (“laminboard” e “blockboard”)	4,5
<b>aglomerado de partículas</b>	
de partículas de madeira ligadas por resinas sintéticas	7,0 a 8,0
de partículas de madeira ligadas por cimento	12,0
de partículas de madeira longas e orientadas (OSB) e produtos similares (“flake board”, “wafer board”)	7,0
<b>aglomerado de fibras</b>	
duro (“hardboard”), corrente e temperado	10,0
de média densidade (MDF)	8,0
brando (“softboard”)	4,0

Tabela anexa 4. Materiais de construção – Metais.

<b>Materiais</b>	<b>Peso volúmico</b> $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
<b>metais</b>	
alumínio	27,0
latão	83,0 a 85,0
bronze	83,0 a 85,0
cobre	87,0 a 89,0
ferro fundido	71,0 a 72,5
ferro forjado	76,0
chumbo	112,0 a 114,0
aço	77,0 a 78,5
zinco	71,0 a 72,0

Tabela anexa 5. Materiais de construção – Outros materiais.

<b>Materiais</b>	<b>Peso volúmico</b> $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
<b>outros materiais</b>	
vidro partido	22,0
vidro em chapas	25,0
<b>plásticos</b>	
placa de acrílico	12,0
poliestireno expandido, grânulos	0,3
espuma de vidro	1,4



Tabela anexa 6. Materiais para pontes e vias férreas.

Materiais	Peso volúmico $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
<b>pavimentos de pontes rodoviárias</b> mastique betuminoso e betão betuminoso mastique asfáltico asfalto cilindrado a quente <b>materiais de enchimento para pontes</b> areia (seca) balastro, cascalho (solto) enrocamento escória britada enrocamento arrumado (gabiões) argila mole <b>pavimentos de pontes ferroviárias</b> camada de protecção de betão balastro normal (por exemplo, granito, gnaiss, etc.) balastro basáltico	24,0 a 25,0 18,0 a 22,0 23,0 15,0 a 16,0 <sup>1)</sup> 15,0 a 16,0 <sup>1)</sup> 18,5 a 19,5 13,5 a 14,5 <sup>1)</sup> 20,5 a 21,5 18,5 a 19,5 25,0 20,0 26
Componentes para vias férreas	Peso por unidade de comprimento de via <sup>2) 3)</sup> $g_k$ [kN/m]
<b>em vias com balastro</b> 2 carris UIC 60 travessa de betão pré-esforçado com meios de fixação travessas bibloco travessas de madeira com meios de fixação <b>em vias sem balastro</b> 2 carris UIC 60 com meios de fixação 2 carris UIC 60 com meios de fixação, vigas de apoio e contra-carril	1,2 4,8 - 1,9 1,7 4,9
<sup>1)</sup> Indicado noutros quadros como materiais armazenados. <sup>2)</sup> Exclui o peso do balastro. <sup>3)</sup> Supõe um afastamento de 600 mm entre travessas.	

Tabela anexa 7. Materiais armazenados utilizados na construção.

Materiais	Peso volúmico $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Ângulo de talude natural $\phi$ [°]
<b>agregados</b> (ver a EN 206)		
leves	9,0 a 20,0	30
normais	20,0 a 30,0	30
pesados	> 30,0	30
<b>brita e areia, a granel</b>	15,0 a 20,0	35
<b>areia</b>	14,0 a 19,0	30
<b>escória de alto-forno</b>		
fragmentos	17,0	40
grânulos	12,0	30
expandida e moída	9,0	35
<b>areia de tijolo, tijolo britado, tijolos partidos</b>	15,0	35
<b>vermiculite</b>		
expandida, agregado para betão	1,0	-
em bruto	6,0 a 9,0	-
<b>bentonite</b>		
solta	8,0	40
vibrada	11,0	-
<b>cimento</b>		
a granel	16,0	28
em sacos	15,0	-
<b>cinzas volantes</b>	10,0 a 14,0	25
<b>vidro, em chapas</b>	25,0	-
<b>gesso moído</b>	15,0	25
<b>cinza de linhite</b>	15,0	20
<b>cal</b>	13,0	25
<b>calcário, pó</b>	13,0	25 a 27
<b>magnesite moída</b>	12,0	-
<b>plásticos</b>		
polietileno, poliestireno em grânulos	6,4	30
policloreto de vinilo, pó	5,9	40
resina de poliéster	11,8	-
resinas para cola	13,0	-
<b>água doce</b>	10,0	

Tabela anexa 8. Produtos armazenados – Produtos agrícolas.

Produtos	Peso volúmico $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Ângulo de talude natural $\phi$ [°]
<b>estrumes</b>		
estrume (mínimo 60 % de sólidos)	7,8	-
estrume (com palha seca)	9,3	45
estrume seco de galinha	6,9	45
excreta (máximo 20 % de sólidos)	10,8	-
<b>fertilizantes artificiais</b>		
NPK, granulado	8,0 a 12,0	25
escória básica moída	13,7	35
fosfatos, granulados	10,0 a 16,0	30
sulfato de potássio	12,0 a 16,0	28
ureia	7,0 a 8,0	24
<b>forragem, verde, empilhada solta</b>	3,5 a 4,5	-
<b>cereais em grão (<math>\leq 14</math> % de teor de água salvo outra indicação)</b>		
em geral	7,8	30
cevada	7,0	30
cereais para fabricação de cerveja (húmedos)	8,8	-
sementes de plantas forrageiras	3,4	30
milho a granel	7,4	30
milho em sacos	5,0	-
aveia	5,0	30
colza	6,4	25
centeio	7,0	30
trigo a granel	7,8	30
trigo em sacos	7,5	-
<b>erva em cubos</b>	7,8	40
<b>feno</b>		
enfardado	1,0 a 3,0	-
fardos redondos	6,0 a 7,0	-
<b>couros e peles</b>	8,0 a 9,0	-
<b>lúpulo</b>	1,0 a 2,0	25
<b>malte</b>	4,0 a 6,0	20
<b>farinha</b>		
moída	7,0	45
cubos	7,0	40
<b>turfa</b>		
seca, solta, vibrada	1,0	35
seca, comprimida em fardos	5,0	-
húmida	9,5	-
<b>forragem ensilada</b>	5,0 a 10,0	-
<b>palha</b>		
a granel (seca)	0,7	-
enfardada	1,5	-
<b>tabaco em fardos</b>	3,5 a 5,0	-
<b>lã</b>		
a granel	3,0	-
enfardada	7,0 a 13,0	-

Tabela anexa 9. Produtos armazenados - Produtos alimentares.

Produtos	Peso volúmico $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Ângulo de talude natural $\phi$ [°]
ovos, acondicionados	4,0 a 5,0	-
<b>farinha</b>		
a granel	6,0	25
ensacada	5,0	-
<b>fruta</b>		
maças		
- soltas	8,3	30
- em caixas	6,5	-
cerejas	7,8	-
peras	5,9	-
framboesas, em tabuleiros	2,0	-
morangos, em tabuleiros	1,2	-
tomates	6,8	-
<b>açúcar</b>		
solto, empilhado	7,5 a 10,0	35
denso e ensacado	16,0	
<b>vegetais, verdes</b>		
couves	4,0	-
alface	5,0	-
<b>vegetais, legumes</b>		
grãos		
- em geral	8,1	35
- soja	7,4	30
ervilhas	7,8	-
<b>vegetais, tubérculos</b>		
em geral	8,8	-
beterraba	7,4	40
cenouras	7,8	35
cebolas	7	35
nabos	7	35
<b>batatas</b>		
a granel	7,6	35
em caixas	4,4	-
<b>beterraba sacarina</b>		
seca e cortada	2,9	35
em bruto	7,6	-
pedaços húmidos	10,0	-

Tabela anexa 10. Produtos armazenados – Líquidos.

Produtos	Peso volúmico $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
<b>bebidas</b>	
cerveja	10,0
leite	10,0
água doce	10,0
vinho	10,0
<b>óleos naturais</b>	
óleo de rícino	9,3
glicerol (glicerina)	12,3
óleo de linhaça	9,2
azeite	8,8
<b>líquidos e ácidos orgânicos</b>	
álcool	7,8
éter	7,4
ácido clorídrico (40 % em peso)	11,8
álcool desnaturado	7,8
ácido nítrico (91 % em peso)	14,7
ácido sulfúrico (30 % em peso)	13,7
ácido sulfúrico (87 % em peso)	17,7
terebintina, aguarrás	8,3
<b>hidrocarbonetos</b>	
anilina	9,8
benzeno (benzol)	8,8
alcatrão de hulha	10,8 a 12,8
creosoto	10,8
nafta	7,8
parafina (querosene)	8,3
benzina	6,9
petróleo bruto	9,8 a 12,8
gasóleo	8,3
“fuel”	7,8 a 9,8
pesados	12,3
lubrificantes	8,8
gasolina	7,4
gás líquido	
- butano	5,7
- propano	5,0
<b>outros líquidos</b>	
mercúrio	133
zarcão	59
alvaiade, em óleo	38
lama, mais de 50 % em volume de água	10,8

Tabela anexa 11. Produtos armazenados - Combustíveis sólidos.

Produtos	Peso volúmico $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Ângulo de talude natural $\phi$ [°]
<b>carvão vegetal</b>		
com ar	4	-
sem ar	15	-
<b>carvão</b>		
briquetes em blocos, a granel	8	35
briquetes em blocos, empilhados	13	-
briquetes ovaais	8,3	30
carvão, bruto da mina	10	35
carvão, em tanques de lavagem	12	-
pó de carvão	7	25
“coque”	4,0 a 6,5	35 a 45
mistos da mina	12,3	35
desperdícios de lavagem em minas	13,7	35
outros tipos de carvão	8,3	30 a 35
<b>lenha</b>	5,4	45
<b>lenhite</b>		
briquetes, a granel	7,8	30
briquetes, empilhados	12,8	-
húmida	9,8	30 a 40
seca	7,8	35
pó	4,9	25 a 40
“coque” de baixa temperatura	9,8	40
<b>turfa</b>		
preta, seca, bem compactada	6 a 9	-
preta, seca, a granel e solta	3 a 6	45

Tabela anexa 12. Produtos armazenados - Industriais e diversos.

Produtos	Peso volúmico $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Ângulo de talude natural $\phi$ [°]
<b>livros e documentos</b>		
em geral	6,0	-
densamente armazenados	8,5	-
<b>prateleiras e armários para arquivo</b>	6,0	-
vestuário e tecidos, empacotados	11,0	-
gelo em blocos	8,5	-
cabedal, empilhado	10,0	-
<b>papel</b>		
em rolos	15,0	-
empilhado	11,0	-
<b>borracha</b>	10,0 a 17,0	-
sal-gema	22,0	45
sal	12,0	40
<b>serradura</b>		
seca, ensacada	3,0	-
seca, solta	2,5	45
húmida, solta	5,0	45
alcatrão, betume	14,0	-

## **ANEXO II – DISTRITOS SOB AÇÃO DA NEVE**

Para efeito da determinação dos valores das cargas devido à ação da neve o território nacional é classificado nas seguintes zonas:

Zona  $Z_1$  em particular - Concelhos de Aguiar da Beira e Forno de Algodres do distrito da Guarda ou concelhos de Mangualde, Nelas, Penalva do Castelo, Sátão e Viseu do distrito de Viseu

Zona  $Z_1$  em geral – Distritos de Castelo Branco e Guarda (excluindo os concelhos de Aguiar da Beira e de Fornos de Algodres), distrito de Bragança (concelhos de Alfândega da Fé, Carrazeda de Ansiães, Freixo de Espada à Cinta, Mogadouro, Torre de Moncorvo e Vila Flor), distrito de Coimbra (concelhos de Arganil, Góis, Oliveira do Hospital, Pampilhosa da Serra e Tábua), distrito de Portalegre (concelhos de Castelo de Vide, Marvão e Nisa), distrito de Santarém (concelho de Mação) e distrito de Viseu (concelhos de Armamar, Carregal do Sal, Castro Daire, Lamego, Moimenta da Beira, Penedono, São João da Pesqueira, Sernancelhe, Tabuaço, Tarouca, Vila Nova de Paiva).

Zona  $Z_2$  – Distritos de Aveiro, Braga, Porto, Viana do Castelo e Vila Real, distrito de Bragança (concelhos de Bragança, Macedo de Cavaleiros, Miranda do Douro, Mirandela, Vimioso e Vinhais), distrito de Coimbra (concelhos de Cantanhede, Coimbra, Condeixa-a-Nova, Figueira da Foz, Lousã, Mira, Miranda do Corvo, Montemor-o-Velho, Penacova, Penela, Soure e Vila Nova de Poiares), distrito de Leiria (concelhos de Alvaiázere, Ansião, Batalha, Castanheira de Pêra, Figueiró dos Vinhos, Leiria, Marinha Grande, Pedrógão Grande e Pombal), distrito de Portalegre (concelhos de Alter do Chão, Arronches, Avis, Campo Maior, Crato, Elvas, Fronteira, Gavião, Monforte, Ponte de Sôr, Portalegre e Sousel), distrito de Santarém (concelhos de Abrantes, Chamusca, Constância, Entroncamento, Ferreira do Zêzere, Golegã, Ourém, Sardoal, Tomar, Torres Novas e Vila Nova da Barquinha) e distrito de Viseu (concelhos de Cinfães, Mortágua, Oliveira de Frades, Resende, Santa Comba Dão, São Pedro do Sul, Tondela, Vouzela).



Zona Z<sub>3</sub> – Regiões autónomas dos Açores e da Madeira, distritos de Beja, Évora, Faro, Lisboa e Setúbal, distrito de Leiria (concelhos de Alcobaça, Bombarral, Caldas da Rainha, Nazaré, Óbidos, Peniche e Porto de Mós) e distrito de Santarém (concelhos de Alcanena, Almeirim, Alpiarça, Benavente, Cartaxo, Coruche, Rio Maior, Salvaterra de Magos e Santarém).

## ANEXO III – ZONAMENTO SÍSMICO

Portugal Continental		Acção sísmica			
Código do município	Designação	Tipo 1		Tipo 2	
		Zona sísmica	Aceleração $a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )	Zona sísmica	Aceleração $a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )
1401	Abrantes	1.5	0,6	2.4	1,1
0101	Águeda	1.6	0,35	2.4	1,1
0901	Aguiar da Beira	1.6	0,35	2.5	0,8
0701	Alandroal	1.5	0,6	2.4	1,1
0102	Albergaria-a-Velha	1.6	0,35	2.4	1,1
0801	Albufeira	1.2	2,0	2.3	1,7
1501	Alcácer do Sal	1.3	1,5	2.3	1,7
1402	Alcanena	1.5	0,6	2.4	1,1
1001	Alcobaça	1.5	0,6	2.4	1,1
1502	Alcochete	1.3	1,5	2.3	1,7
0802	Alcoutim	1.3	1,5	2.4	1,1
1101	Alenquer	1.4	1,0	2.3	1,7
0401	Alfândega da Fé	1.6	0,35	2.5	0,8
1701	Alijó	1.6	0,35	2.5	0,8
0803	Aljezur	1.1	2,5	2.3	1,7
0201	Aljustrel	1.3	1,5	2.4	1,1
1503	Almada	1.3	1,5	2.3	1,7
0902	Almeida	1.6	0,35	2.4	1,1
1403	Almeirim	1.5	0,6	2.3	1,7
0202	Almodôvar	1.3	1,5	2.4	1,1
1404	Alpiarça	1.5	0,6	2.4	1,1
1201	Alter do Chão	1.5	0,6	2.4	1,1
1002	Alvaiázere	1.5	0,6	2.4	1,1
0203	Alvito	1.4	1,0	2.4	1,1
1115	Amadora	1.3	1,5	2.3	1,7
1301	Amarante	1.6	0,35	2.5	0,8
0301	Amares	1.6	0,35	2.5	0,8
0103	Anadia	1.6	0,35	2.4	1,1
1003	Ansião	1.5	0,6	2.4	1,1
1601	Arcos de Valdevez	1.6	0,35	2.5	0,8
0601	Arganil	1.6	0,35	2.4	1,1
1801	Armamar	1.6	0,35	2.5	0,8
0104	Arouca	1.6	0,35	2.5	0,8
0702	Arraiolos	1.4	1,0	2.4	1,1
1202	Arronches	1.5	0,6	2.4	1,1
1102	Arruda dos Vinhos	1.4	1,0	2.3	1,7
0105	Aveiro	1.6	0,35	2.4	1,1
1203	Avis	1.5	0,6	2.4	1,1
1103	Azambuja	1.4	1,0	2.3	1,7

Portugal Continental		Acção sísmica			
Código do município	Designação	Tipo 1		Tipo 2	
		Zona sísmica	Aceleração $a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )	Zona sísmica	Aceleração $a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )
1302	Baião	1.6	0,35	2.5	0,8
0302	Barcelos	1.6	0,35	2.5	0,8
0204	Barrancos	1.4	1,0	2.4	1,1
1504	Barreiro	1.3	1,5	2.3	1,7
1004	Batalha	1.5	0,6	2.4	1,1
0205	Beja	1.4	1,0	2.4	1,1
0501	Belmonte	1.6	0,35	2.4	1,1
1405	Benavente	1.4	1,0	2.3	1,7
1005	Bombarral	1.4	1,0	2.3	1,7
0703	Borba	1.5	0,6	2.4	1,1
1702	Boticas	1.6	0,35	2.5	0,8
0303	Braga	1.6	0,35	2.5	0,8
0402	Bragança	1.6	0,35	2.5	0,8
0304	Cabeceiras de Basto	1.6	0,35	2.5	0,8
1104	Cadaval	1.4	1,0	2.3	1,7
1006	Caldas da Rainha	1.5	0,6	2.4	1,1
1602	Caminha	1.6	0,35	2.5	0,8
1204	Campo Maior	1.5	0,6	2.4	1,1
0602	Cantanhede	1.5	0,6	2.4	1,1
0403	Carraceda de Ansiães	1.6	0,35	2.5	0,8
1802	Carregal do Sal	1.6	0,35	2.4	1,1
1406	Cartaxo	1.4	1,0	2.3	1,7
1105	Cascais	1.3	1,5	2.3	1,7
1007	Castanheira de Pêra	1.6	0,35	2.4	1,1
0502	Castelo Branco	1.6	0,35	2.4	1,1
0106	Castelo de Paiva	1.6	0,35	2.5	0,8
1205	Castelo de Vide	1.5	0,6	2.4	1,1
1803	Castro Daire	1.6	0,35	2.5	0,8
0804	Castro Marim	1.3	1,5	2.3	1,7
0206	Castro Verde	1.3	1,5	2.4	1,1
0903	Celorico da Beira	1.6	0,35	2.4	1,1
0305	Celorico de Basto	1.6	0,35	2.5	0,8
1407	Chamusca	1.5	0,6	2.4	1,1
1703	Chaves	1.6	0,35	2.5	0,8
1804	Cinfães	1.6	0,35	2.5	0,8
0603	Coimbra	1.6	0,35	2.4	1,1
0604	Condeixa-a-Nova	1.5	0,6	2.4	1,1
1408	Constância	1.5	0,6	2.4	1,1
1409	Coruche	1.4	1,0	2.3	1,7
0503	Covilhã	1.6	0,35	2.4	1,1
1206	Crato	1.5	0,6	2.4	1,1
0207	Cuba	1.4	1,0	2.4	1,1

Portugal Continental		Acção sísmica			
Código do município	Designação	Tipo 1		Tipo 2	
		Zona sísmica	Aceleração $a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )	Zona sísmica	Aceleração $a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )
1207	Elvas	1.5	0,6	2.4	1,1
1410	Entroncamento	1.5	0,6	2.4	1,1
0107	Espinho	1.6	0,35	2.5	0,8
0306	Esposende	1.6	0,35	2.5	0,8
0108	Estarreja	1.6	0,35	2.4	1,1
0704	Estremoz	1.5	0,6	2.4	1,1
0705	Évora	1.4	1,0	2.4	1,1
0307	Fafe	1.6	0,35	2.5	0,8
0805	Faro	1.2	2,0	2.3	1,7
1303	Felgueiras	1.6	0,35	2.5	0,8
0208	Ferreira do Alentejo	1.3	1,5	2.4	1,1
1411	Ferreira do Zêzere	1.5	0,6	2.4	1,1
0605	Figueira da Foz	1.5	0,6	2.4	1,1
0904	Figueira de Castelo Rodrigo	1.6	0,35	2.5	0,8
1008	Figueiró dos Vinhos	1.5	0,6	2.4	1,1
0905	Fornos de Algodres	1.6	0,35	2.4	1,1
0404	Freixo de Espada à Cinta	1.6	0,35	2.5	0,8
1208	Fronteira	1.5	0,6	2.4	1,1
0504	Fundão	1.6	0,35	2.4	1,1
1209	Gavião	1.5	0,6	2.4	1,1
0606	Góis	1.6	0,35	2.4	1,1
1412	Golegã	1.5	0,6	2.4	1,1
1304	Gondomar	1.6	0,35	2.5	0,8
0906	Gouveia	1.6	0,35	2.4	1,1
1505	Grândola	1.3	1,5	2.3	1,7
0907	Guarda	1.6	0,35	2.4	1,1
0308	Guimarães	1.6	0,35	2.5	0,8
0505	Idanha-a-Nova	1.6	0,35	2.4	1,1
0110	Ílhavo	1.6	0,35	2.4	1,1
0806	Lagoa	1.1	2,5	2.3	1,7
0807	Lagos	1.1	2,5	2.3	1,7
1805	Lamego	1.6	0,35	2.5	0,8
1009	Leiria	1.5	0,6	2.4	1,1
1106	Lisboa	1.3	1,5	2.3	1,7
0808	Loulé	1.2	2,0	2.3	1,7
1107	Loures	1.3	1,5	2.3	1,7
1108	Lourinhã	1.4	1,0	2.3	1,7
0607	Lousã	1.6	0,35	2.4	1,1
1305	Lousada	1.6	0,35	2.5	0,8
1413	Mação	1.5	0,6	2.4	1,1
0405	Macedo de Cavaleiros	1.6	0,35	2.5	0,8
1109	Mafra	1.4	1,0	2.3	1,7

Portugal Continental		Acção sísmica			
Código do município	Designação	Tipo 1		Tipo 2	
		Zona sísmica	Aceleração $a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )	Zona sísmica	Aceleração $a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )
1306	Maia	1.6	0,35	2.5	0,8
1806	Mangualde	1.6	0,35	2.4	1,1
0908	Manteigas	1.6	0,35	2.4	1,1
1307	Marco de Canaveses	1.6	0,35	2.5	0,8
1010	Marinha Grande	1.5	0,6	2.4	1,1
1210	Marvão	1.5	0,6	2.4	1,1
1308	Matosinhos	1.6	0,35	2.5	0,8
0111	Mealhada	1.6	0,35	2.4	1,1
0909	Meda	1.6	0,35	2.5	0,8
1603	Melgaço	1.6	0,35	2.5	0,8
0209	Mértola	1.3	1,5	2.4	1,1
1704	Mesão Frio	1.6	0,35	2.5	0,8
0608	Mira	1.5	0,6	2.4	1,1
0609	Miranda do Corvo	1.5	0,6	2.4	1,1
0406	Miranda do Douro	1.6	0,35	2.5	0,8
0407	Mirandela	1.6	0,35	2.5	0,8
0408	Mogadouro	1.6	0,35	2.5	0,8
1807	Moimenta da Beira	1.6	0,35	2.5	0,8
1506	Moita	1.3	1,5	2.3	1,7
1604	Monção	1.6	0,35	2.5	0,8
0809	Monchique	1.2	2,0	2.3	1,7
1705	Mondim de Basto	1.6	0,35	2.5	0,8
1211	Monforte	1.5	0,6	2.4	1,1
1706	Montalegre	1.6	0,35	2.5	0,8
0706	Montemor-o-Novo	1.4	1,0	2.4	1,1
0610	Montemor-o-Velho	1.5	0,6	2.4	1,1
1507	Montijo	1.3	1,5	2.3	1,7
0707	Mora	1.5	0,6	2.4	1,1
1808	Mortágua	1.6	0,35	2.4	1,1
0210	Moura	1.4	1,0	2.4	1,1
0708	Mourão	1.4	1,0	2.4	1,1
1707	Murça	1.6	0,35	2.5	0,8
0112	Murtosa	1.6	0,35	2.4	1,1
1011	Nazaré	1.5	0,6	2.4	1,1
1809	Nelas	1.6	0,35	2.4	1,1
1212	Nisa	1.5	0,6	2.4	1,1
1012	Óbidos	1.5	0,6	2.3	1,7
0211	Odemira	1.2	2,0	2.4	1,1
1116	Odivelas	1.3	1,5	2.3	1,7
1110	Oeiras	1.3	1,5	2.3	1,7
0506	Oleiros	1.6	0,35	2.4	1,1
0810	Olhão	1.2	2,0	2.3	1,7

Portugal Continental		Acção sísmica			
Código do município	Designação	Tipo 1		Tipo 2	
		Zona sísmica	Aceleração $a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )	Zona sísmica	Aceleração $a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )
0113	Oliveira de Azeméis	1.6	0,35	2.4	1,1
1810	Oliveira de Frades	1.6	0,35	2.4	1,1
0114	Oliveira do Bairro	1.6	0,35	2.4	1,1
0611	Oliveira do Hospital	1.6	0,35	2.4	1,1
1421	Ourém	1.5	0,6	2.4	1,1
0212	Ourique	1.3	1,5	2.4	1,1
0115	Ovar	1.6	0,35	2.4	1,1
1309	Paços de Ferreira	1.6	0,35	2.5	0,8
1508	Palmela	1.3	1,5	2.3	1,7
0612	Pampilhosa da Serra	1.6	0,35	2.4	1,1
1310	Paredes	1.6	0,35	2.5	0,8
1605	Paredes de Coura	1.6	0,35	2.5	0,8
1013	Pedrógão Grande	1.5	0,6	2.4	1,1
0613	Penacova	1.6	0,35	2.4	1,1
1311	Penafiel	1.6	0,35	2.5	0,8
1811	Penalva do Castelo	1.6	0,35	2.5	0,8
0507	Penamacor	1.6	0,35	2.4	1,1
1812	Penedono	1.6	0,35	2.5	0,8
0614	Penela	1.5	0,6	2.4	1,1
1014	Peniche	1.4	1,0	2.3	1,7
1708	Peso da Régua	1.6	0,35	2.5	0,8
0910	Pinhel	1.6	0,35	2.4	1,1
1015	Pombal	1.5	0,6	2.4	1,1
1606	Ponte da Barca	1.6	0,35	2.5	0,8
1607	Ponte de Lima	1.6	0,35	2.5	0,8
1213	Ponte de Sor	1.5	0,6	2.4	1,1
1214	Portalegre	1.5	0,6	2.4	1,1
0709	Portel	1.4	1,0	2.4	1,1
0811	Portimão	1.1	2,5	2.3	1,7
1312	Porto	1.6	0,35	2.5	0,8
1016	Porto de Mós	1.5	0,6	2.4	1,1
0309	Póvoa de Lanhoso	1.6	0,35	2.5	0,8
1313	Póvoa de Varzim	1.6	0,35	2.5	0,8
0508	Proença-a-Nova	1.5	0,6	2.4	1,1
0710	Redondo	1.5	0,6	2.4	1,1
0711	Reguengos de Monsaraz	1.4	1,0	2.4	1,1
1813	Resende	1.6	0,35	2.5	0,8
1709	Ribeira de Pena	1.6	0,35	2.5	0,8
1414	Rio Maior	1.5	0,6	2.3	1,7
1710	Sabrosa	1.6	0,35	2.5	0,8
0911	Sabugal	1.6	0,35	2.4	1,1
1415	Salvaterra de Magos	1.4	1,0	2.3	1,7

Portugal Continental		Acção sísmica			
Código do município	Designação	Tipo 1		Tipo 2	
		Zona sísmica	Aceleração $a_{ER}$ (m/s <sup>2</sup> )	Zona sísmica	Aceleração $a_{ER}$ (m/s <sup>2</sup> )
1814	Santa Comba Dão	1.6	0,35	2.4	1,1
0109	Santa Maria da Feira	1.6	0,35	2.4	1,1
1711	Santa Marta de Penaguião	1.6	0,35	2.5	0,8
1416	Santarém	1.5	0,6	2.3	1,7
1509	Santiago do Cacém	1.3	1,5	2.3	1,7
1314	Santo Tirso	1.6	0,35	2.5	0,8
0812	São Brás de Alportel	1.2	2,0	2.3	1,7
0116	São João da Madeira	1.6	0,35	2.4	1,1
1815	São João da Pesqueira	1.6	0,35	2.5	0,8
1816	São Pedro do Sul	1.6	0,35	2.4	1,1
1417	Sardoal	1.5	0,6	2.4	1,1
1817	Sátão	1.6	0,35	2.5	0,8
0912	Seia	1.6	0,35	2.4	1,1
1510	Seixal	1.3	1,5	2.3	1,7
1818	Sernancelhe	1.6	0,35	2.5	0,8
0213	Serpa	1.4	1,0	2.4	1,1
0509	Sertão	1.5	0,6	2.4	1,1
1511	Sesimbra	1.3	1,5	2.3	1,7
1512	Setúbal	1.3	1,5	2.3	1,7
0117	Sever do Vouga	1.6	0,35	2.4	1,1
0813	Silves	1.2	2,0	2.3	1,7
1513	Sines	1.3	1,5	2.3	1,7
1111	Sintra	1.3	1,5	2.3	1,7
1112	Sobral de Monte Agraço	1.4	1,0	2.3	1,7
0615	Soure	1.5	0,6	2.4	1,1
1215	Sousel	1.5	0,6	2.4	1,1
0616	Tábua	1.6	0,35	2.4	1,1
1819	Tabuaço	1.6	0,35	2.5	0,8
1820	Tarouca	1.6	0,35	2.5	0,8
0814	Tavira	1.3	1,5	2.3	1,7
0310	Terras de Bouro	1.6	0,35	2.5	0,8
1418	Tomar	1.5	0,6	2.4	1,1
1821	Tondela	1.6	0,35	2.4	1,1
0409	Torre de Moncorvo	1.6	0,35	2.5	0,8
1419	Torres Novas	1.5	0,6	2.4	1,1
1113	Torres Vedras	1.4	1,0	2.3	1,7
0913	Trancoso	1.6	0,35	2.5	0,8
1318	Trofa	1.6	0,35	2.5	0,8
0118	Vagos	1.6	0,35	2.4	1,1
0119	Vale de Cambra	1.6	0,35	2.4	1,1
1608	Valença	1.6	0,35	2.5	0,8
1315	Valongo	1.6	0,35	2.5	0,8

Portugal Continental		Acção sísmica			
Código do município	Designação	Tipo 1		Tipo 2	
		Zona sísmica	Aceleração $a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )	Zona sísmica	Aceleração $a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )
1712	Valpaços	1.6	0,35	2.5	0,8
0712	Vendas Novas	1.4	1,0	2.3	1,7
0713	Viana do Alentejo	1.4	1,0	2.4	1,1
1609	Viana do Castelo	1.6	0,35	2.5	0,8
0214	Vidigueira	1.4	1,0	2.4	1,1
0311	Vieira do Minho	1.6	0,35	2.5	0,8
0510	Vila de Rei	1.5	0,6	2.4	1,1
0815	Vila do Bispo	1.1	2,5	2.3	1,7
1316	Vila do Conde	1.6	0,35	2.5	0,8
0410	Vila Flor	1.6	0,35	2.5	0,8
1114	Vila Franca de Xira	1.4	1,0	2.3	1,7
1420	Vila Nova da Barquinha	1.5	0,6	2.4	1,1
1610	Vila Nova de Cerveira	1.6	0,35	2.5	0,8
0312	Vila Nova de Famalicão	1.6	0,35	2.5	0,8
0914	Vila Nova de Foz Côa	1.6	0,35	2.5	0,8
1317	Vila Nova de Gaia	1.6	0,35	2.5	0,8
1822	Vila Nova de Paiva	1.6	0,35	2.5	0,8
0617	Vila Nova de Poiares	1.6	0,35	2.4	1,1
1713	Vila Pouca de Aguiar	1.6	0,35	2.5	0,8
1714	Vila Real	1.6	0,35	2.5	0,8
0816	Vila Real de Santo António	1.3	1,5	2.3	1,7
0511	Vila Velha de Ródão	1.6	0,35	2.4	1,1
0313	Vila Verde	1.6	0,35	2.5	0,8
0714	Vila Viçosa	1.5	0,6	2.4	1,1
0411	Vimioso	1.6	0,35	2.5	0,8
0412	Vinhais	1.6	0,35	2.5	0,8
1823	Viseu	1.6	0,35	2.5	0,8
0314	Vizela	1.6	0,35	2.5	0,8
1824	Vouzela	1.6	0,35	2.4	1,1



Arquipélago da Madeira		Acção sísmica	
Código do município	Designação	Tipo 1	
		Zona sísmica	Aceleração $a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )
	<b>Ilha da Madeira</b>		
3101	Calheta	1.6	0,35
3102	Câmara de Lobos	1.6	0,35
3103	Funchal	1.6	0,35
3104	Machico	1.6	0,35
3105	Ponta do Sol	1.6	0,35
3106	Porto Moniz	1.6	0,35
3107	Ribeira Brava	1.6	0,35
3108	Santa Cruz	1.6	0,35
3109	Santana	1.6	0,35
3110	São Vicente	1.6	0,35
	<b>Ilha de Porto Santo</b>		
3201	Porto Santo	1.6	0,35

Arquipélago dos Açores		Acção sísmica	
Código do município	Designação	Tipo 2	
		Zona sísmica	Aceleração $a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )
	<b>Ilha de Santa Maria</b>		
4101	Vila do Porto	2.2	2,0
	<b>Ilha de São Miguel</b>		
4201	Lagoa	2.1	2,5
4202	Nordeste	2.1	2,5
4203	Ponta Delgada	2.1	2,5
4204	Povoação	2.1	2,5
4205	Ribeira Grande	2.1	2,5
4206	Vila Franca do Campo	2.1	2,5
	<b>Ilha Terceira</b>		
4301	Angra do Heroísmo	2.1	2,5
4302	Vila da Praia da Vitória	2.1	2,5
	<b>Ilha da Graciosa</b>		
4401	Santa Cruz da Graciosa	2.2	2,0
	<b>Ilha de São Jorge</b>		
4501	Calheta	2.1	2,5
4502	Velas	2.1	2,5
	<b>Ilha do Pico</b>		
4601	Lajes do Pico	2.1	2,5
4602	Madalena	2.1	2,5
4603	São Roque do Pico	2.1	2,5
	<b>Ilha do Faial</b>		
4701	Horta	2.1	2,5
	<b>Ilha das Flores</b>		
4801	Lajes das Flores	2.4	1,1
4802	Santa Cruz das Flores	2.4	1,1
	<b>Ilha do Corvo</b>		
4901	Corvo	2.4	1,1